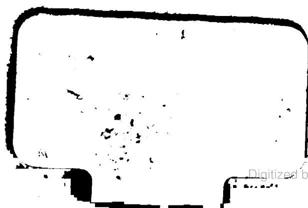




NACHTRÄGE UND BERICHTIGUNGEN ZUR KATOPTRIK.

S. 314 Z. 6 lies Kap. 12 statt 11 und statt des Satzes: „Ein cylindrisch u. s. w. bis erwähnt“ lies: „Wenigstens scheinen damit Planwinkelspiegel gemeint zu sein“.

S. 318, 1 f. *alteratum et transmutatum* ist wohl *ἀλλοιούμενον καὶ μεταβάλλοντα*. Letzteres wurde vom Übersetzer in seiner intransitiven Bedeutung verkannt und durch *mutantem* wiedergegeben, das A dann korrigierte. Ist *μεταβάλλοντα* dem Sinne nach gleich *μεταρρυθμιζόμενον*? (Plat. Tim. 46[a], oben S. 311.) *contemperantiam* = *σύγκρασιν*. Die Stelle sucht die sogen. Sphärenmusik auf natürlichere Weise zu erklären als Plato, der Polit. X p. 617[b] von acht Sirenen spricht, deren Gesang melodisch erklinge (*μίαν ἁρμονίαν ξυμφωνεῖν*).

S. 336 Z. 12 ff. Nach erneuter Prüfung dieses schwierigen Kapitels dachte ich die Frage zur Erwägung zu stellen, ob nicht 338, 11 (propius) bis 342, 6 ursprünglich die Fortsetzung von 346, 21 gebildet und, unter Verstümmelung der Anfangsworte, etwa durch Blattversetzung sich hinter Kap. 11 verschoben habe. Die Aufgabe von Kap. 11, das Rechte rechts zu zeigen, ist durch den cylindrischen Hohlspiegel gelöst, dagegen fehlen in Kap. 13 die speziellen Hinweise auf die Verzerrungen des cylindrisch-konvexen Spiegels. Doch wäre es nicht ausgeschlossen, daſs trotzdem das ganze Kapitel, wie es überliefert ist, zusammengehörte, wenn man mit Herrn Dr. Pfaff in Helmstedt 338, 12 *concavam* statt *convexam* (*κοίλην* statt *κυρτὴν*) und 340, 2 *adhuc accedente* (griechisch etwa *ἐπανιόντος* ‘recedente’, was in *ἔτ’ ἀνιόντος* verderbt

S. 185 Z. 13 lies: أجّ statt ججّ

S. 186 Z. 10—12 mufs lauten: Weil der Teil derselben, der auf dem Wasser liegt, sehr gering ist, so dafs der Teil, den das Wasser stützt, ebenfalls gering ist, und etc.

S. 188 Z. 3 Ḳisṭ ist das griechische ξέστης, sextarius, ein Hohlmafs.

S. 189 Z. 8 statt مدة wohl الية zu lesen.

S. 202 Z. 4 nach „dünne" erg. „runde".

S. 205 Z. 3 zu مستوية. Die Codd. bieten متساوية

S. 207 Z. 8 lies: بعض

S. 213 Z. 12 lies: الموضع

S. 225 Z. 2 statt الاكفال vielleicht الاطراف zu lesen.

S. 226 Z. 7 „An dem Ende der senkrechten Balken". Aus dem Folgenden ergiebt sich, dafs der eine Teil des Flaschenzugs an dem Querbalken angebracht ist, wie in der Figur. Vgl. Z. 10.

S. 232 Z. 35 statt „Vaterschraube" lies „Schraubenspindel".

S. 236 Z. 27 lies: Kerbe.

S. 238 Z. 33 statt „und von gleichmäfsiger Stärke" lies „wenn auch kräftig".

S. 295 Z. 18 lies „Schlitten" statt „Kröten".

S. 86. In Fig. 19 ist der Punkt γ auf $\vartheta\varkappa$ zu projizieren und in den Proportionen der Fufspunkt dieses Lotes unter γ zu verstehen. Vgl. Knauff, Die Physik des Heron von Alexandria. Programm des Sophiengymnasiums zu Berlin. 1900. S. 8 Anm.

S. 87 Z. 2 lies: الثقل

S. 90. In Fig. 21 ist der Faden des unbezeichneten Gewichtes um die Scheibe vom Aufhängepunkt nach ν hin aufgewickelt zu denken, so dafs das unbezeichnete Gewicht in der Richtung $\nu\varepsilon$ etwas höher als ε zu hängen kommt. Fig. 21 ist genau die handschriftliche. Vgl. Knauff, l. c.

S. 94 Z. 23 „nach“ bis „und“ offenbar zu tilgen, ebenso

S. 95 Z. 15 بقدر وسط المحور

S. 96 Z. 1 statt „lockenartig“ lies: „ausgeschweift“.

S. 97. Note 2 und 3 sind umzustellen.

S. 102 Z. 22 vgl. S. XXVII unten.

S. 104 Z. 12, 13 lies: „eines Cylinders, die sich auf der Oberfläche des Cylinders bewegt, an“.

S. 115 Z. 4 lies: يكون statt des كان der Codd.

S. 132 Anm. 5) lies: تكون

S. 141 Z. 7 lies: اط und زج

S. 141 Z. 20 lies: الخشبة

S. 141 Z. 21 lies: استقامة

S. 157 Z. 13 lies: ثمانى (mit K; BCL ثمان)

S. 168 Z. 15 „nicht“, und

S. 169 Z. 14 ليس dürfte wohl mit de Vaux zu streichen sein.

S. 169 Z. 19 lies: ونرسم

S. 175 Z. 2 lies: الجماعة

S. 175 Z. 18 lies: الدواب تنفذ

S. 176 Anm. 1) lies: K كاننا

S. 177 Z. 21 lies: الهواء

NACHTRÄGE UND VERBESSERUNGEN ZUR MECHANIK.

S. 3 Z. 11 tilge عليه und lies Note 4: K add. عليه
S. 11 Z. 5 lies: فى
S. 19 Z. 7 lies: علامة
S. 21 Z. 10 lies: يتبين
S. 21 Z. 11 lies: جائزة
S. 23 Z. 8 lies: معلومة
S. 23 Z. 20 lies: المجسم
S. 27 Z. 3 lies: مضروب
S. 29 Z. 12 lies: الخارجة
S. 43 Z. 9 lies: العلامة
S. 47 Z. 7 lies: اليسرى
S. 55 Z. 5, 6, 3) ist die Lesart der Codd. herzustellen.
S. 56 Z. 26 tilge das Komma nach „sind“.
S. 57 Z. 14 lies: متّصلة
S. 61 Z. 9 lies: أنّا
S. 62 Z. 28 vgl. S. XXI, XXII und Clermont-Ganneau, Études d'archéologie orientale. T. I, 2 S. 131—7. Paris 1895.
S. 62 Z. 33 lies: „wird; deshalb“.
S. 63 Z. 5 lies: اذ
S. 65 Z. 8 vielleicht متعلقة z. l. statt مضطربة der Codd. und
S. 64 Z. 12 statt „schwanken“ „hängen“.
S. 71 Z. 8 vielleicht ندع zu lesen, wie übersetzt.
S. 75 Z. 18 lies: معتدلا

26*

مستقصى الاستواء بقدر ثخن اللولب ثم نثقب فى جوانب هذا الحفر الواسع ثقبا صغارا متوالية ونركّب فيها اوتادا صغارا مائلة مستديرة وننفذها الى ان تقع فى دوائر اللولب ثم ناخذ الخشبة التى نريد ان نحفر فيها اللولب الانثى فنثقب فيها* ثقبا بقدر وتد اللولب ونصل بين هذه الخشبة والخشبة(1 التى ركبنا فيها(2 اللولب بقائمتين نشدّهما شدّا مستقصى ثم نركّب الوتد الذى فيه الاسفين فى الحفر الذى فى الخشبة التى نريد ان نحفر فيها اللولب الانثى ونثقب فى طرف اللولب الاعلى ثقبا نصيّر فيها اوتادا فنديرها الى ان تنفذ فى الخشبة فلا نزال نديرها صاعدا ونازلا ونتعاهد هذا الاسفين بالضرب مرّة بعد مرّة حتى يحفر اللولب الانثى الحفر الذى نريد فنكون قد حفرنا اللولب الانثى وهذا الشكل وبتمامه تم الكتاب ⊙

1) CL om. 2) B om.

dem Pflocke ab und graben mitten in die beiden übrigen Teile eine kanalartige Grube *(fghi)* der ganzen Länge nach, halb so tief als die übrige Dicke. Darauf nehmen wir einen Eisenstab *(lknm)* und drehen ihn gemäfs den Schraubenwindungen. Hiernach befestigen wir ihn auf dem Pflock *(ee)*, in welchem die Grube ist, und bringen sein (stumpfes) Ende an das (bei *u* aufhörende Holz-)Gewinde, nachdem wir die beiden Stücke (das abgesägte und das ausgehöhlte) fest verbunden haben, so dafs eins am andern haftet und durchaus kein Zwischenraum zwischen ihnen bleibt. Dann nehmen wir einen kleinen Keil *(opqrvw)*, führen ihn in die kanalartige Grube ein und schlagen ihn, bis er den eisernen Stab heraustreibt, und zwischen die beiden Teile fällt. Wenn wir dies gethan haben, fügen wir die Schraube in ein durchbohrtes Holz (ζ, ζ) ein, worin sich ein vollständig gerades Loch, vom Mafs der Dicke der Schraube *(dd)* befindet. Dann bohren wir in die Wände dieses weiten Loches kleine, nebeneinanderstehende Löcher, setzen kleine, schiefe, runde Zapfen (η) hinein, und lassen diese so tief eindringen, bis sie in das Gewinde der Schraube eingreifen.*) Darauf nehmen wir das Holz (*T*), in welches wir die Mutterschraube bohren wollen, bohren ein dem Schraubenpflock *(ee)* entsprechendes Loch (εε) in dasselbe und verbinden dieses Holz mit demjenigen, in welches wir die Schraube eingefügt haben, durch zwei Pfosten, die wir vollkommen befestigen. Dann setzen wir den Pflock (γ), in welchem der Keil ist, in das Loch (εε), welches sich in dem zur Mutterschraube zu bohrenden Holze (*T*) befindet, bohren in das obere Ende (β) der Schraube Löcher, in die wir Speichen einsetzen und drehen sie, bis er (der Pflock *γ*) in das Holz eindringt. Wir hören nicht auf, sie auf und ab zu drehen und den Keil immer wieder anzutreiben**), bis die Mutterschraube so gebohrt ist, wie wir es beabsichtigen. Dann haben wir die Mutterschraube gebohrt.

*) Um der Holzschraube als Führung zu dienen.
**) Nachdem man das ganze Gestell umgekippt hat.

الجهة الاخرى قدر ثخن الدوائر اللولبية حتى تصيّره كوتد متساوى الثخن ونخرج قطر[1] قاعدة[1] الخشبة ونقسمه[2] بثلاثة اقسام متساوية ونخرج على علامة واحدة من علامتى القسمة خطا قائما على القطر ثم نخرج من طرفى الخط القائم على ذلك القطر فى طول الوتد كلّه خطّين قائمين وذلك يتهيأ لنا اذا وضعنا هذا الوتد على لوح قائم وخططناه بالكلبتين[3] الى ان ننال الحفر اللولبىّ ثم نتلطف بمنشار دقيق حتى ننشر ما يلى الحفر اللولبى ثم نفصل هذا الثلث المرسوم من الوتد ونفرض فى الجزئين الباقيين فى وسطهما حفرا ميرابيّا فى كلّ الطول يكون قدر نصف الثخن الباقى ثم ناخذ قضيبا من حديد فنديره على الدوائر اللولبيّة ثم نركّبه على الوتد الذى الحفر فيه ثم نصير طرفه فى الدوائر اللولبيّة بعد ان نشدّ القطعتين جميعا شدّا جيدا حتى يلتأم[4] احداهما الى الاخرى ولا يكون بينهما خلل بتّة ثم نتّخذ اسفينا صغيرا فندخله فى الحفر الميرابى ونضربه الى ان يخرج القضيب الحديد فيقع بين القطعتين[5] فاذا فعلنا ذلك ركّبنا اللولب فى خشبة محفورة فيها ثقب

---

1) Codd. dual. 2) Codd. ونقسم كل واحد منها 3) B بالكاسكر LK بالمكايس C بالكايس 4) BC يلزم 5) Codd. تضبنتين

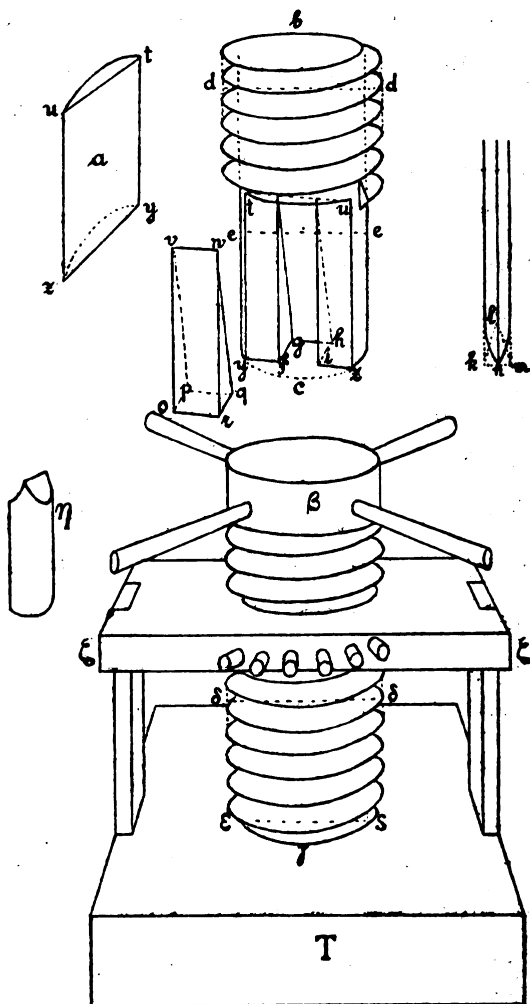


Fig. 61.

اللولب ايضا فى الجهة الاخرى فترتفع الخشبة وتقلع القرمية ويبدل الجسم المعصور حتى يخرج كلّ شىء فيه من الرطوبات ⊙

[٢٠] وقد تكون آلة اخرى بلولب واحد وذلك بان نعمل على المائدة قائمتين تحمل[1] الخشبة المعترضة التى فيها الحفر اللولبى* الانثى وليكن الحفر اللولبىّ[2] فى وسط هذه الخشبة ثم يدخل اللولب فى هذا الحفر ويدوّر بالاوتاد التى فى الفلكة حتى ينحطّ اللولب على اللوح المركّب على الغالاغرا فيكبّسه فتسيل الرطوبات وقد ينبغى ان نتعاهد بالشدّ مرّة بعد مرّة حتى لا يبقى فى الجسم المعصور من الرطوبات شىء ⊙ وقد تكون من المعاصر اجناس اخر غير هذه كثيرة لم نر ان نكتبها لانها قد كثر استعمالها عند العامّة وخلقت عندهم وهى دون هذه التى ذكرناها فى الفعل ⊙

[٢١] فامّا اللولب الانثى فانّه يعمل على هذه الجهة تؤخذ خشبة صلبة يكون طولها اكثر من مثلى اللولب الانثى* وثخنها مساو للّولب الانثى[3] ونعمل فى الجهة الواحدة فى نصف طول الخشبة لولبا على ما قدمنا صفته وليكن عمق الدوائر اللولبية فيه كعمق دوائر اللولب الذى نريد ان نديره فى هذا اللولب الانثى ونخرط من

1) K على 2) C om. 3) C om.

die zu beschreiben uns aber nicht gut dünkt, weil ihr Gebrauch beim Volke häufig und gewöhnlich ist, obschon sie in der Leistung den von uns erwähnten nachstehen.

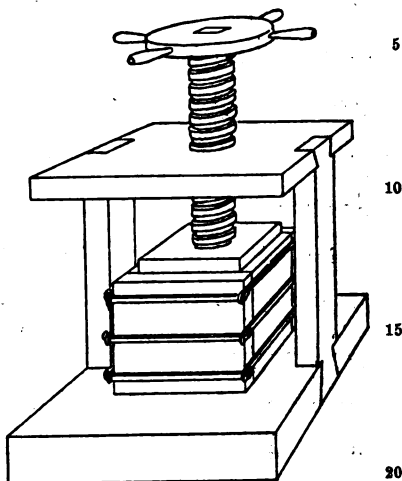


Fig. 60.

21 Die Mutterschraube wird nun auf folgende Weise hergestellt. Man nimmt ein hartes Stück Holz *(bc)*, dessen Länge doppelt so grofs ist, als die Mutterschraube und dessen Dicke derselben gleich ist. Auf der einen Seite machen wir auf der Hälfte des Holzes eine Schraube *(d, d)* nach der früher gegebenen Beschreibung. Die Tiefe der Windungen an derselben sei so grofs wie diejenige der Windungen an der Schraube, die wir in die Mutterschraube eindrehen wollen. Auf der anderen Seite drechseln wir den Betrag der Dicke der Schraubengänge ab, so dafs das Holz wie ein gleichmäfsig dicker Pflock *(e, e)* wird. Dann ziehen wir den Durchmesser der Grundfläche des Holzes und teilen denselben in drei gleiche Teile. In dem einen der beiden Teilpunkte errichten wir eine Senkrechte auf dem Durchmessser. Dann ziehen wir von den Endpunkten dieser auf dem Durchmesser senkrecht stehenden Linie in der ganzen Länge des Pflockes zwei gerade Linien *(ty, uz)*. Dies erreichen wir, wenn wir den Pflock auf eine gerade Platte legen, und ihn mit einer Zange furchen, bis wir das Gewinde erreichen. Dann wenden wir vorsichtig eine feine Säge an, und sägen ihn bis zum Gewinde durch. Darauf trennen wir das bezeichnete Drittel *(utzy)* von

ان يكون اقل من عرض تلك بربع عرضها ثم نصيّر لهذه المائدة رجلا مربّعا على زوايا قائمة يكون اسافلها كهيئة الدرج ويكون طولها اكثر من عرض المائدة بشىء يسير ليقوم عليها جميع الآلة قياما جيّدا وينبغى ان نفرض نصف القائمة فرضا مقتدرا ونفرض نصف المائدة بقدر ذلك الفرض الذى فى القائمة ونركّب احد الفرضين على الآخر حتى يثبت عليه ثباتا جيدا ثم نصيّر على المائدة بين اللولبين اربعة حيطان متّصلة من الواح رقاق يكون ثخنها اقلّ من اصبع ويكون طول المربّعة وعرضها التى تكون بين هذه الالواح بالقدر الذى اذا صيّرت فى وسطها الغالاغرا يكون بينهما وسع يحيط[1] بالغالاغرا تسيل فيه الرطوبات وينبغى ان نحفر فى وسط هذه المائدة حفرا يسع سطح الغالاغرا الذى يماسّ المائدة أىْ تدخل فيه ونركب الغالاغرا فى هذا الحفر ثم نصيّر فى اعلاها لوحا ثخينا يملأها ونركّب عليه قرميّة اصغر من اللوح طولا وعرضا يكون ثخنها يملأ الغالاغرا ثم ندير اللولبين بالاوتاد التى فى الفلك حتى تنحطّ الخشبة التى فيها الحفر اللولبىّ الانثى على القرميّة فتنكبس القرمية وتكبّس القرمية اللوح الذى فى داخل الغالاغرا فيعصر الجسم الذى فى الغالاغرا وتسيل الرطوبات ثم يدار

1) Codd. يحوط

sitzt. Dann errichten wir auf dem Tisch zwischen den beiden Schrauben vier miteinander verbundene Wände aus dünnen Platten, die weniger als einen Finger dick sind; die Länge und Breite des Vierecks zwischen diesen Platten soll eine solche sein, dafs, wenn die Galeagra mitten hineinkommt, zwischen beiden ein die Galeagra umgebender freier Raum bleibt, in welchen die Flüssigkeit fliefst. In der Mitte des Tisches müssen wir eine Grube machen, so weit wie die Grundfläche der Galeagra, die den Tisch berührt, d. h. sie mufs in dieselbe passen, und wir fügen die Galeagra in diese Grube ein. Dann legen wir obenauf eine dicke Platte, die sie (der Breite nach) ausfüllt, und darüber ein Holzstück von geringerer Länge und Breite als die Platte, aber so dick, dafs es die Galeagra (der Tiefe nach) ausfüllt. Dann drehen wir die Schrauben mittels der Speichen, die an den Scheiben sind, bis sich das Holz, in dem sich die Mutterschrauben befinden, auf das Holzstück senkt. Dann wird das Holzstück gedrückt, und das Holzstück drückt die Platte im Innern der Galeagra und prefst den Körper in der Galeagra aus, und die Flüssigkeit läuft ab. Dann dreht man die Schraube wieder nach der anderen Seite, sodafs das Holz sich hebt, das Holzstück wird weggenommen und der zu pressende Gegenstand vertauscht, bis alle Flüssigkeit aus demselben heraus ist.

20 Es giebt ein andres Werkzeug mit einer Schraube. Es besteht darin, dafs wir auf dem Tisch zwei Pfosten anbringen, die das Querholz, in welchem sich die Mutterschraube befindet, tragen. Die Mutterschraube befinde sich in der Mitte dieses Holzes. Dann fügen wir die Schraube in dieses Loch ein und drehen sie mittels der Speichen, die an der Scheibe sind, bis sich die Schraube auf die oben in der Galeagra aufgelegte Platte senkt, sie prefst und die Flüssigkeit abläuft.

Man mufs den Druck mehrmals wiederholen, bis in dem zu pressenden Körper keine Flüssigkeit mehr vorhanden ist. Es giebt noch viele andre Arten von Pressen,

فى هذه الثقب اربعة اوتاد وباقى[1] العودين[2] تحيط به دائرة بفرض[3] غليظ[4] تكون داخلة عن طرفهما[5] قدر عمق الحفر المستدير الذى حفرناه فى المائدة وليكن قطر هذه الدائرة نصف قطر دائرة قاعدة اللولب فاذا فعلنا هذا ركّبنا طرف اللولب الذى فيه هذه الدائرة المفروضة فى الحفر المستدير الذى فى المائدة ثم دفعنا الضباب التى عملناها حتى تداخل الدائرة المفروضة فتثبتت عليها فلا تدع للّولب مخرج وكذلك ايضا نفعل باللولب الذى فى الرأس الاخر من المائدة ثم ناخذ خشبة مربّعة طويلة يكون طولها قدر الخشبة السفلانية التى اللولب مركّب فيها وليكن فى هذه الخشبة دائرتان نافذتان فى عمق الخشبة تخرجان الى الجهة الاخرى مسامتتان لحفرى الدائرتين اللتين طرفا اللولبين فيهما وليكن فى هاتين الدائرتين حفر لولبىّ فى داخلهما لتكون الدائرتان انثيين[6] للّولبين حتى تكون اذا دوّر اللولبان تنحطّ الخشبة وكذلك ايضا اذا دوّر فى الجهة الاخرى ترتفع الخشبة فامّا كيف نعمل حفر اللولب الانثى فانّا سنخبّر به فيما بعد وقد ينبغى ان يكون طول هذه الخشبة وثخنها كما قلنا على قدر طول المائدة وثخنها فامّا عرضها فينبغى

1) B om. 2) Codd. التربيع 3) Codd. بعود 4) Codd. غليظة 5) Codd. طرفه 6) Codd. انثاوين

Um das andre Ende der beiden Hölzer laufe im Kreise ein grober Einschnitt, der soweit vom Ende entfernt ist, als das runde Loch, das wir in den Tisch (d) gebohrt haben, tief ist. Der Durchmesser dieses Kreises sei gleich der Hälfte des Durchmessers des Kreises der Grundfläche der Schraube. Wenn dies geschehen ist, fügen wir das Ende (a) der Schraube, an welchem sich dieser eingekerbte Kreis befindet, in das runde Loch in dem Tische. Dann treiben wir die Sperrhölzer (b, b), die wir gemacht haben [durch Keile (c, c)] an, bis sie in den eingekerbten Kreis einspringen und darin festsitzen und so die Schraube nicht herausfahren lassen. Ebenso verfahren wir mit der Schraube, die ans andre Ende des Tisches kommt.

Nun nehmen wir ein langes viereckiges Holz von der Länge des unteren Holzes, in welches die Schrauben eingefügt sind. In diesem Holze befinden sich zwei Kreise, die in das Holz ein- und nach der anderen Seite durchgehen, in derselben Lage wie die beiden Kreishöhlungen, in welchen die beiden Enden der Schrauben sitzen. Im Innern dieser beiden Kreisöffnungen befinde sich ein Schraubengewinde, damit dieselben die Mutterschrauben bilden, so daſs, wenn die beiden Schrauben gedreht werden, das Holz sich senkt und sich ebenso auch hebt, wenn die Schrauben nach der anderen Seite gedreht werden. Wie man aber die Schraubenmutter herstellt, werden wir im Folgenden darlegen. Die Länge und Dicke dieses Holzes muſs, wie gesagt, das Maſs der Länge und der Dicke des Tisches haben; seine Breite muſs um ein Viertel der Breite desselben geringer sein.

Hierauf machen wir für den Tisch einen viereckigen, rechtwinkligen Fuſs, dessen unterer Teil wie eine Stufe aussieht, und dessen Länge um ein Weniges gröſser ist, als die Breite des Tisches, damit das ganze Werkzeug darauf feststeht. Die Mitte dieses Fuſses müssen wir mit einer angemessenen Nute versehen, und die Mitte des Tisches mit einem, der Nute des Fuſses entsprechenden Zinken und diesen in jene einfügen, so daſs er ganz fest-

خشبة طويلة مستوية صلبة فى طبيعتها ولا الى حجر ثقيل عظيم ولا حبال قويّة ولا يبالنا فيها امتناع لصلابة الحبال ولكنها سليمة من هذا كلّه تكبّس كبسا شديدا وتخرج الرطوبات باستقصاء وصنعتها هى هذه التى نحن ذاكروها ⊙ نستعمل خشبة مربعة يكون طولها ستّة اشبار وعرضها ليس باقلّ من قدمين وثخنها ليس باقلّ من قدم واحد ولتكن هذه الخشبة صلبة فى جنسها لا تكون شديدة اللين ولا هشيمة لكنها تكون متوسطة ولنسمّها مائدة فنضع المائدة معترضة ونحفر فى طرفيها على بعد متقارب ثقبين عميقين فى داخلها مستديرين ونصيّر لكلّ ثقب ضبتين من خشب نافذتين فى عمق المائدة وليكن طرفاهما قسيّا[1] تلتقى فتكون منهما دائرة صغيرة اصغر من الدوائر المحفورة ولتكن هذه الضباب موربّة الحفر لتكون اذا ركّبت ثبتت فلا تنقطع بتّة ثم ناخذ عودين صلبين مستويين مربّعين على مسطرة يكون ثخنهما وعرضهما متساويين ولندع من احد رأسيهما بعدا مقتدرا مربّعا وناخذ زوايا باقى العودين وندورها[2] بالمبرد[3] ونرسم عليهما[4] لولبا متساوى الثخن ونصيّر فى طرف خشب اللولب الذى[5] تركناه مربّعا فلكة مثقوبة باربع ثقب ونصيّر

1) Codd. قشّى 2) Codd. نديره 3) Codd. بالنهى
4) Codd. عليه 5) K add. قد

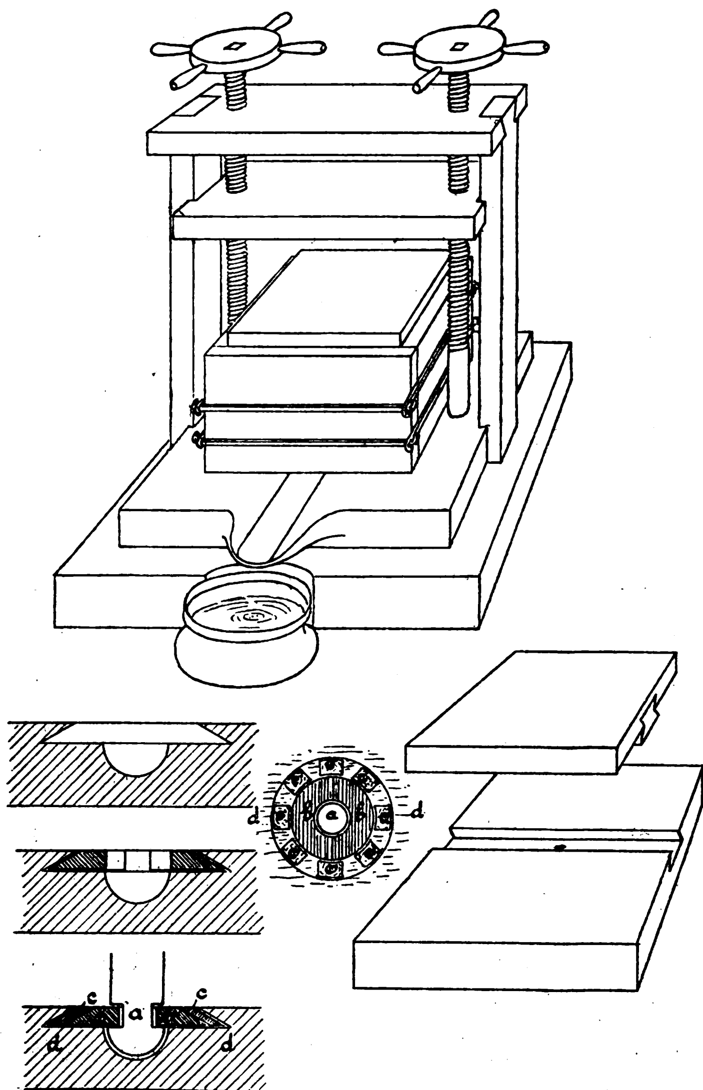


Fig. 59.

[١٨] والآن نخبّر بصنعة[1] المعاصر التى تعصر بها بشدّة وقوّة ونذكر الفصل الذى* بين الآلات التى[2] تقدم* ذكرها وبين هذه الآلات[3] وهى من[4] اقوى ما يكون واتقنه واولا[5] نخبر الفصل الذى بينهما ثم نصف صنعتها[6] فنقول إنّ الخشبة التى تسمّى الجبل ليس هى الا مخل ما يكبّسه ثقل والثقل الذى يكبّسه هو فى طرفه المتعالى عن الارض فاذا كبّس لا تزال الرطوبات تسيل الى ان يقعد الثقل على الارض فامّا *هذه الآلات التى[7] نريد صفتها* فانها قويّة[8] جدّا ولكن كبسها[9] ليس بمتصل ايضا شديد فلذلك يجب ان نتعاهد وقتا بعد وقت بالتدوير والشدّ فامّا فى الخشبة التى تسمّيها جبلا فانك اذا علّقت الحجر وتركته كان هو وحده يكبس ولم يحتج الى ان تتعاهد بالكبس مرّة بعد مرّة فهذا الاختلاف الذى يعرض بين الآلات ⊙

[١٩] *وقد تنفع هذه الآلات[10] التى نخبر الآن بصنعتها فى عصر الزيت وهى سهلة العمل يمكن ان تنقل او تصيّر فى اىّ المواضع اردنا وليس نحتاج فيها الى

1) BCL بصناعة 2) Codd. om. 3) Codd. من ذكرنا فيها (فيه K) اللين 4) B om. 5) Codd. اولى 6) LC صفتها 7) B هذان الآلتان التان 8) B فانهما قويتان 9) B كبسهما 10) B om.

holen. Bei dem Oros genannten Balken dagegen übt der Stein, wenn er aufgehängt ist, und dann losgelassen wird, allein den Druck aus, und man hat eine mehrmalige Wiederholung des Drückens nicht nötig. Das ist der Unterschied zwischen den Werkzeugen.

19 Die Werkzeuge, deren Herstellung wir jetzt besprechen, dienen zum Pressen von Olivenöl. Sie sind leicht zu handhaben, können transportiert und an jeden beliebigen Ort gebracht werden. Man hat bei denselben keinen langen, gleichmäſsigen Balken von harter Natur, noch einen groſsen, schweren Stein, noch starke Seile nötig, auch begegnet uns dabei kein Hindernis wegen der Härte der Seile; sondern sie sind frei von alledem, üben einen starken Druck aus und pressen die Flüssigkeiten vollkommen aus. Ihre Herstellung geschieht so, wie wir jetzt darlegen.

Wir nehmen ein viereckiges Holz von sechs Spannen Länge; seine Breite sei nicht geringer als zwei Fuſs, und seine Dicke nicht geringer als ein Fuſs. Dieses Holz sei von fester Art, nicht zu weich und nicht zu trocken, sondern von mittlerer Qualität. Wir nennen es „Tisch.“ Wir legen nun den Tisch flach auf, und bohren an seinen beiden Rändern in gleichem Abstande zwei tiefe, runde Löcher hinein. In jedes Loch bringen wir zwei Sperrhölzer, (b, b) die in die Tiefe des Tisches hineinragen. Ihre beiden Enden seien Bogen, die sich treffen, so daſs dadurch ein kleiner Kreis entsteht, der kleiner ist als die gebohrten Kreislöcher. Diese beiden Sperrhölzer mögen schief geschnitten sein, damit sie, wenn sie eingefügt sind, fest bleiben und gar nicht nachgeben. Dann nehmen wir zwei harte, viereckige, linealgerade Hölzer, von gleicher Dicke und Breite; den einen Kopf derselben lassen wir auf einen angemessenen Abstand viereckig. Die Kanten des übrigen Teils der beiden Hölzer nehmen wir und machen sie mit der Feile rund und konstruieren darauf eine Schraube von gleichmäſsiger Dicke. An dem Ende des Schraubenholzes, das wir viereckig gelassen haben, bringen wir eine Scheibe mit vier Löchern an, in welche wir vier Speichen stecken.

اسافلها([1] حتى يكون* الذى يبقى من ثخن الخشب قدر نصفه وقد ينبغى ان يكون الفرض الذى فى المساطر متساويا ليتراكب بعضها على بعض ثم نركّب المساطر حتى يكون([2] بتركيب([3] جميعها شكل مربع متساوى الاضلاع شبيه بالتابوت وقد ينبغى ان تكون فرج المساطر الداخلة واسعة لتسيل الرطوبات منها سريعا([4] اما فى هذه الآلة فليس يحتاج ان يكون الخشب على العنب والالواح المركّبة فوقه ثخينة جدّا لانه([5] اذا انعصر العنب فبقدر ما انعصر منه يرتفع من المساطر لئلّا يعرض منها امتداع ⊙

[١٧] فاما الغالاغرا الاخرى فان اربعة([6] حيطانها تعمل متصلة([7] بعضها ببعض([8] بثلاث عوارض فى كلّ واحد منها وقد ينبغى ان يصيّر فى هذه الثلاث([9] العوارض فضل فى جوانبها مفروض فرضا يبلغ الى نصف ثخنها لان تكون اذا ركّب بعضها الى بعض تثبت الاربعة الحيطان مهندمة وقد ينبغى فى هذه الآلة ايضا ان تكون فرجها واسعة وتوضع على لوحها الاعلى قرمية يكون لها ارتفاع على ما ذكرنا اولا لئلّا تنال الخشبة بعض العنب وتنزل* القرمية الى اسفل الغالاغرا([10] ⊙

1) BCL اسفلها 2) B om. 3) BCL بتركّب 4) B om. 5) Codd. لان 6) Codd. اربع 7) Codd. متصل 8) K الى بعض 9) Codd. الاربع 10) B om.

Werkzeug braucht das Holz, das auf den Trauben liegt, und die Platten, die darüber aufgeschichtet werden, nicht sehr dick zu sein, weil sie, wenn die Trauben geprefst werden, (durch Auflegen neuer Platten) je nach dem Betrag des bereits davon Geprefsten, über die Latten hinausragen, sodafs kein Hindernis aus diesen entsteht.

17 Was nun die andre Galeagra betrifft, so wird die Verbindung ihrer Wände*) mit einander durch drei Querhölzer an jeder derselben hergestellt. An den Seiten dieser drei Querhölzer mufs ein Fortsatz sein, der mit einer bis in die Mitte ihrer Dicke reichenden Kerbe versehen ist, damit die vier Wände fest aneinander gefügt sind, wenn sie zusammengesetzt werden. Auch bei diesem Werkzeug müssen die Ritze weit sein, und auf die oberste Platte ein Stück Holz gelegt werden, das nach dem vorhin Erwähnten oben hinausragt, damit der Prefsbalken nicht einen Teil der Trauben trifft, sondern der Holzklotz sich bis auf den Boden der Galeagra senkt.

18 Jetzt wollen wir die Herstellung der Pressen besprechen, die stark und kräftig pressen, und den Unterschied erwähnen, der zwischen den bereits genannten und den folgenden Werkzeugen besteht, die zum stärksten und vollkommensten gehören, was es giebt.

Zuerst legen wir den Unterschied zwischen ihnen dar, und dann beschreiben wir ihre Herstellung. Wir sagen also, dafs der Oros genannte Balken nichts Andres ist, als ein Hebel, den ein Gewicht niederdrückt. Das Gewicht, das ihn drückt, befindet sich an seinem über dem Erdboden erhabenen Ende. Wenn es den Druck ausübt, so fliefsen die Flüssigkeiten ununterbrochen, bis das Gewicht auf dem Boden sitzt. Die Werkzeuge, die wir nun beschreiben wollen, sind zwar sehr kräftig, aber ihr Druck ist nicht kontinuierlich und von gleichmäfsiger Stärke. Deshalb mufs man das Drehen und Pressen von Zeit zu Zeit wieder-

*) Diese Galeagra ist in Fig. 59. zwischen den Schrauben der Doppelschraubenpresse gezeichnet.

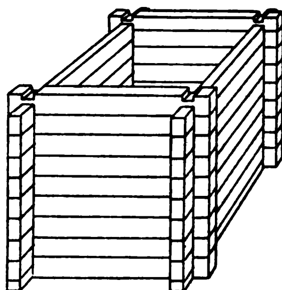
فتنكبس الخشبة ويرتفع الحجر فينعصر كلّ شىء تحت الخشبة فاذا انحطّ الحجر الى ان يقعد على الارض ادرناه تدويرا ضدّ ذلك حتّى ترتفع الخشبة ويثبت الحجر وهذا العمل قوى وثيق مأمون العاقبة ليس فيه كثير تعب ⊙

[١٩] وقد احتال قوم فى استخراج اجناس اخر* من آلات(1 العصر فعملوا مكان الحبل الذى يلف على العنب المرضوض ومكان* القفاف التى تصيّر فيها الزيتون(2 بعد ان فرض وتدخل تحت الجبل آلة من خشب سمّوها غالااغرا يملؤونها ما ارادوا ويضعونها تحت الخشبة التى تسمّى الجبل ويحطون الخشبة عليها فانّه يجتمع لهم بذلك وسع لما يريدون ان يعصرونه وسهولة العمل وهذه الغالااغرا صنعتها(3 على ضربتين احداهما تكون مركّبة وهى على هذا العمل توخذ خشبة صلبة فى طبيعتها مكتنزة فنعمل منها مساطر يكون طولها بقدر الآلة التى نريد ان نعملها ويكون عرضها قدر* شبرين وتخنها قدر(4 ستّة اصابع ثم نفرض فى طرفى(5 كلّ مسطرة من الجهتين جميعا بعد ان ندع منها(6 ستّة اصابع فرضا فى اعلاها(7 وننفذ فى عمق المساطر قدر ربع تخنها وكذلك ايضا نفعل فى

1) Codd. om. 2) B om. 3) BCL صفنها 4) B om. 5) B om. 6) Codd. منه 7) Codd. اعلاه

in welche man die Oliven legt, nachdem sie mit einem Einschnitt (?) versehen worden, und die man unter den Oros bringt, ein Instrument aus Holz gemacht, das man Galeagra nennt. Dies füllt man mit beliebigem Material an, stellt es unter den Oros genannten Balken, und läſst den Balken darauf herab. Hierdurch erhält man einen weiten Raum für das, was man pressen will, und Erleichterung für die Arbeit.

Die Herstellung der Galeagra geschieht auf zwei Arten. Die eine derselben ist zusammengesetzt, und entsteht nach folgendem Verfahren. Man nimmt Holz von harter und starker Beschaffenheit, und macht daraus Latten von der Länge des Instrumentes, das man machen will. Ihre Breite messe zwei Spannen, und ihre Dicke sechs Finger. Dann schneiden wir an beiden Enden jeder Latte auf beiden Seiten, nachdem man sechs Finger breit davon freigelassen, eine Kerb in den oberen Teil und lassen sie auf ein Vierteil der Dicke in die Tiefe der Latte eindringen. Ebenso machen wir es auf der unteren Seite, sodaſs der Rest der Dicke des Holzes noch seine Hälfte beträgt. Die Kerben in den Latten müssen gleichmäſsig sein, damit eine in die andre paſst. Dann setzen wir die Latten zusammen, sodaſs aus der Zusammensetzung aller ein gleichseitiges, viereckiges, kastenähnliches Gestell entsteht. Die inneren Ritze zwischen den Latten müssen weit sein, damit die Flüssigkeiten schnell daraus ablaufen. Bei diesem



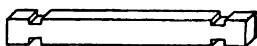


Fig. 58.

الجزئين حتى تصيرا شيئا واحدا ينبغى ان يكون الحفر اللولبيّ ايضا فى الخشبة الانثى نافذا فى الجهة الواحدة الى غاية الخشبة فاما فى الجهة الاخرى فانّه يدع غير محفور صلبا([1] فاذا ركّبنا طرف اللولب فى طرف الخشبة المجوّفة التى قد بلغ حفرها اللولبيّ الى اقصاها ودور ذلك ينفذ اللولب كلّه فى الخشبة المحفورة حتى يستتر كلّه فاذا فعلنا ذلك حفرنا فى طرف هذه الخشبة المحفورة الداخل دائرة فى عنقها([2] دون طرفها ببعد يسير وركّبنا عليه خواتيم حديد كما نفعل فى محاور العجل ثم نحفر فى الحجر حفرا يسع طرف هذه الخشبة* ان تتراكب فيه وليكن يمكن فيه ان تدور الخشبة تدويرا سهلا ثم نركّب طرف الخشبة فى([3] ذلك الحفر ونصيّر له ضبابا حديدا([4] تمنع الخشبة من أن تخرج من الحفر الذى فى الحجر ونصيّر على الدائرة المفروضة فى طرف الخشبة ايضا خاتما حديدا([5] ليكون تدويرها سهلا ونصيّر فوق هذا الطرف([6] المركّب فى الحجر ثقبا متخالفة تخرج منها اربعة اطراف وتدين فاذا فعلنا ذلك واردنا استعمال الخشبة التى تسمى الجبل اوصلنا طرفى اللولب والخشبة المحفورة الداخل ثم تدار الاربعة الاوتاد

---

1) Codd. صلب 2) K عمقها 3) B om. 4) Codd. ضباب حديد 5) Codd. خاتم حديد 6) Codd. الحفر

Das Gewinde mufs auch in dem Mutterholz auf der einen Seite bis zum Ende des Holzes gehen; am anderen Ende läfst man es ungebohrt, massiv. Wenn wir nun das Ende der Schraube in das Ende des ausgehöhlten Holzes, dessen Gewinde bis zu seinem äussersten Rande reicht, einfügen, und die Schraube gedreht wird, so geht dieselbe ganz in das ausgehöhlte Holz hinein, bis sie ganz darin verschwindet. Wenn wir dies gethan haben, schneiden wir am Ende dieses innen ausgehöhlten Holzes an seinem Halse in kurzer Entfernung vom Ende einen Kreis (*a*) aus, und setzen einen eisernen Ring (*c*) darauf, wie man es bei Wagenachsen macht. Darauf graben wir in den Stein ein Loch (*c*), so weit, dafs das Ende dieses Holzes (*a*, *d*) hineinpafst, und wir dasselbe leicht darin drehen können. Nun setzen wir das Ende des Holzes in dieses Loch ein, und bringen eiserne Haken (*f*, *f*) daran (an dem Stein) an, die das Holz hindern aus der Grube im Stein herauszufahren. An dem, am Ende des Holzes ausgekerbten Kreise bringen wir ebenfalls einen eisernen Ring (*d*) an, damit es sich leicht drehen läfst. Oberhalb dieses in den Stein eingelassenen Endes machen wir einander entgegengesetzte Löcher, aus welchen die vier Enden zweier Speichen herausragen. Wenn wir dies gethan haben, und den Oros genannten Balken benutzen wollen, bringen wir die beiden Enden der Schraube und des im Innern ausgehöhlten Holzes an einander. Danach werden die vier Speichen gedreht, bis die Schraube in die Höhlung eindringt, der Balken herabgedrückt wird, der Stein sich hebt, und so Alles unter dem Balken ausgeprefst wird. Wenn sich der Stein so weit gesenkt hat, dafs er auf der Erde aufsitzt, drehen wir im entgegengesetzten Sinne, so dafs sich der Balken hebt, während der Stein liegen bleibt. Dieses Verfahren ist kräftig und solid, von sicherem Ausgange (gefahrlos) und ohne viele Mühe.

16 Manche haben daran gedacht andre Arten von Prefswerkzeugen zu erfinden, und haben an Stelle des um die zu pressenden Trauben gewundenen Netzes und der Körbe,

وبين الحجر وناخذ نصفه او اكثر من ذلك قليلا ونعمل بهذا الطول لولبا عدسيّا معتدل الثخن وليكن الحفر اللولبيّ لا يخرج الى نهاية خشبة اللولب من الجهة الواحدة فامّا من الجهة الاخرى فانّه ينبغى ان يكون الحفر اللولبيّ يبلغ نهاية الخشبة اللولبيّة ونصير الفاضل من الخشبة مربّعا ونفرض فى هذا المربّع حفرا يسمّى طرمس وهو دائرة تحفر فى طرف العود حتى يتراكب العود بالخشبة التى يحتاج ان يوصل بها ثم نركّب هذا الطرمس فى احدى جهات اللبدة التى تلى ما تحت الخشبة ثم نستعمل مسامير من حديد معترضة فنركّب اطرافها فى هذا الحفر ونسمّر باقيها على اللبده ونستعمل ايضا محور حديد نجيبره فى هذا الطرمس ونخرجه الى اللبدة فنشدّه فيها ليزيده[1] وثاقة واتصالا باللبدة[2] ثم نستعمل خشبة اخرى مربّعة من عود صلب قوى يكون طولها مساويا لطول اللولب وعرضها الذى يحيط به ضلع من اضلاع مربع قاعدتها اطول من قطر الاسطوانة اللولبية بالقدر الذى يمكن به ان تركّب تلك الاسطوانة فى داخل هذه الخشبة المربعة ثم نشقّها بنصفين طولا ونحفر من كل واحد من جزئيها حفرا ميرابيّا مستديرا نصيّره أنثى اللولب ونحفره حفرا لولبيّا يمكن ان يتراكب فيه اللولب الذكر ثم نلصق

1) K add. قوة   2) Codd. add. الخشب

bringen wir auf dem Oros genannten Balken festsitzende Hemmungen(?) an, damit dieser Backstein nicht weiter laufe, als nötig ist, sich aber doch nach beiden Seiten hin bewegen kann. Dann heben wir den Preſsbalken so hoch wie möglich, um die Trauben darunter zu legen, messen die Entfernung zwischen dem Backstein und dem Stein, nehmen davon die Hälfte oder ein wenig mehr und machen nach dieser Länge eine gleichmäſsig dicke, linsenförmige Schraube. Das Schraubengewinde gehe aber auf der einen Seite nicht bis zum Ende des Schraubenholzes; auf der andren Seite muſs jedoch das Gewinde das Ende des Schraubenholzes erreichen. Den überragenden Teil des Holzes machen wir viereckig und schneiden in dieses Viereck eine Grube, Tormos genannt. Das ist ein Kreisloch, welches in das Ende des Holzes gebohrt wird, so daſs dieses Holz sich mit dem Holz (dem Backstein), mit dem es verbunden werden soll, zusammenfügen läſst. Dann fügen wir diesen Tormos an die eine der unter dem Preſsbalken gelegenen Seiten des Backsteins, nehmen eiserne Quernägel (?), fügen ihre Enden in dieses Loch ein und nageln den Rest derselben in den Backstein. Nun benutzen wir eine eiserne Achse, die wir in diesen Tormos einführen, sie nach dem Backstein gehen lassen und sie daran befestigen, damit sie die Festigkeit der Verbindung mit dem Backstein erhöhe.

Hierauf nehmen wir ein andres viereckiges Stück von starkem harten Holze, von gleicher Länge wie die Schraube; seine Breite, welche von einer von den Seiten des Vierecks seiner Grundfläche bestimmt ist, sei um soviel gröſser als der Durchmesser des Schraubencylinders, daſs wir diesen Cylinder in das Innere dieses viereckigen Holzes einfügen können. Dann spalten wir es der Länge nach, machen in jeden der beiden Teile einen runden kanalartigen Graben, um eine Mutterschraube daraus zu machen, schneiden das Schraubengewinde ein, so daſs die Vaterschraube eingefügt werden kann. Hiernach verbinden wir die beiden Teile wieder, so daſs sie zu einem Stück werden.

فانّ صلابة[1] الحبل تفعل امتناعا ما من انحطاط الخشبة وارتفاع الحجر لان الحبل اذا كان صلبا فانّه لا يجرى على البكر فى رفع الحجر[2] الى الجهة العليا وفى انحطاط الخشبة الى اسفل وفى رفع الحجر يحتاج ان نستعمل اوتادا طوالا[3] ندير المحور بها ولا تأمّنّا اذا كان العتب المرضوض[4] الذى تحت الخشبة كثيرا وكان الذين يديرون هذا المحور الذى الحبل عليه جماعة ان ينكسر بعض الاوتاد فيقع فينالهم ضرر او ينقلب من الثقب فيقع ايضا فينالهم مثل ذلك فاستخرجوا حيلة اخرى لا يحتاج فيها الى حبل اسهل من هذه واوثق منها وهذه صفتها ⊙ نستعمل جسما من خشب مربّع كهيئة اللبنة[5] فنركبها تحت الخشبة التى تدعى الجبل فى الموضع الذى كان يصيّر فيه الحبل وليصير احد اجزائه التى تلى ما فوق مستديرة ونصيّر من كلّ جهة من ناحيتى الركن الثابت لجآت[6] ثابتة على الخشبة التى يقال لها الجبل لئلا تجرى هذه اللبنة اكثر ممّا يحتاج اليه ويمكنها ان تميل الى الجهتين جميعا ثم نرفع الخشبة اعظم رفعها الذى نرفعه لوضع العتب تحتها ونقدر البعد الذى بين اللبنة

1) B om. 2) Codd. الخشبة 3) B add. والاوتاد القويّة يستّونها (يسمو فيها .Cod) باليونانيّة بربا (msc. s. p.) 4) LCB s. p. 5) Codd. لبنة et لبنه 6) K لجنابات

Wir benutzen einen viereckigen Körper von Holz, der wie ein Backstein*) aussieht, und befestigen ihn unter

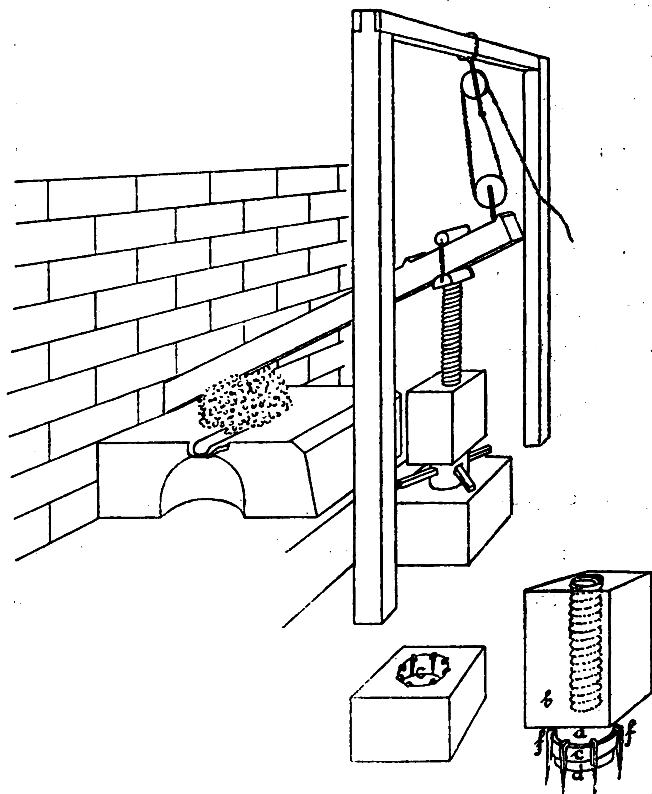


Fig. 57.

dem Oros genannten Balken an der Stelle, wo das Seil war. Den einen, nach oben gerichteten, seiner Teile machen wir rund, und auf beiden Seiten der festen Stütze

*) gr. vielleicht πλινθίον.

ان نبيّن ذلك ونشرح(1 منه قدر ما يكتفى بمعرفته ⊙ فامّا الخشبة التى تسمى جبلا(2 الذى يسمّيه قوم آخرون عصارا(3 فليس(4 شيئا(5 آخر غير مخل ما وحجره الذى تحت المخل وهو حائط المعصرة الذى طرف الخشبة فيه والثقل هو الحبل الملفوف على العنب المرضّض(6 والقوّة المحرّكة هى الحجر المعلّق فى طرف الخشبة الذى(7 يسمّى لثس(8 وقد يعرض فى الخشب العظام ان يكون ثقل الحجر(9 عظيما ايضا ليقوى على العصر أمّا الخشبة العظيمة فانّه قد يكون طولها خمسة وعشرين ذراعا والحجر المعلّق * عليه الذى يسمّى لثس(10 يكون ثقله عشرين قنطارا(11 ⊙

[١٤] * فنريد ان نحتال فى تعليق(12 الحجر فنستعمل هذا العمل(13 نتّخذ آلة كثيرة الرفع ونشدّ على طرف الجبل بكرة وعلى الحجرة بكرة اخرى ونشدّ على الحجر فوق البكرة خشبة معترضة نعلقها على الخشبة التى تسمى الجبل ولنخرج ذلك الحبل الى محور عليه فلكة وندير الفلكة فيلتفّ الحبل على المحور ويرتفع الحجر ⊙

[١٥] * وقد نجد حيلة اخرى نحطّ بها الخشبة التى تسمى اورس ونرفع بها الحجر الذى يسمّى لثس

التى 8) Codd. لمن et لبن 9) LC الخشب 10) LC ليبا K ليسا 11) B om. 12) BCL طريق 13) B om.

sei. Die langen Preſsbalken sind bisweilen fünfundzwanzig Ellen lang, und der daran hängende Stein, genannt Lithos, hat ein Gewicht von zwanzig Talenten.

14 Wir wollen nun das Aufhängen des Steines betrachten. Wir verfahren dabei so: Wir nehmen einen Flaschenzug und befestigen eine Rolle an dem Ende des Oros, die andre an dem Stein (und führen ein Seil über die Rollen). An dem Steine befestigen wir auſserdem ein Querholz über der Rolle, welches an das Oros genannte Holz angehängt wird (um den Stein an dem Preſsbalken aufzuhängen, wenn er mittels des Flaschenzugs hoch gehoben ist). Dann führen wir jenes Seil nach einer Welle mit dem Rade, drehen das Rad, so daſs sich das Seil um die Welle aufrollt und der Stein sich hebt.

15 Wir haben noch eine andre Methode, um das Oros genannte Holz zu senken und den Lithos genannten Stein zu heben. Denn die Steifigkeit der Seile bewirkt ein Hindernis für das Senken des Holzes und das Heben des Steines, weil das Seil, wenn es steif ist, nicht über die Rollen läuft, beim Heben des Steines nach oben und beim Senken des Balkens nach unten. Beim Heben des Steines müssen wir auch lange Speichen anwenden, um mittels derselben die Welle zu drehen. Wir sind aber, wenn die zu pressenden Trauben, die unter dem Balken liegen, sehr viele, oder die Leute, die die Welle, auf der sich das Seil befindet, drehen, eine gröſsere Anzahl sind, nicht sicher vor dem Brechen einzelner Speichen, so daſs (der Stein) herabfällt, und sie so ein Unglück trifft, oder daſs (die Speichen) aus dem Loche herausfahren, so daſs (der Stein) ebenfalls fällt, und ihnen dasselbe Unglück widerführe. So hat man also eine andre Methode herausgefunden, bei der man kein Seil nötig hat, die leichter und sicherer ist. Ihre Beschreibung ist folgende.

---

1) K ونشبع 2) Codd. حبل et حمل 3) Codd. عصار
4) Codd. لبس 5) Codd. شىء 6) BCL المرصص 7) Codd.

الحجارة بعضها على بعض ثم حلّوا الخشب فيثبت الحائط على حالته المستوية ⊙

[١٣] امّا ما يحتاج اليه فى حركة الاثقال وما ينفع فى ذلك فقد* اثبتنا بيانه[1] بما فيه كفاية والآن آلات

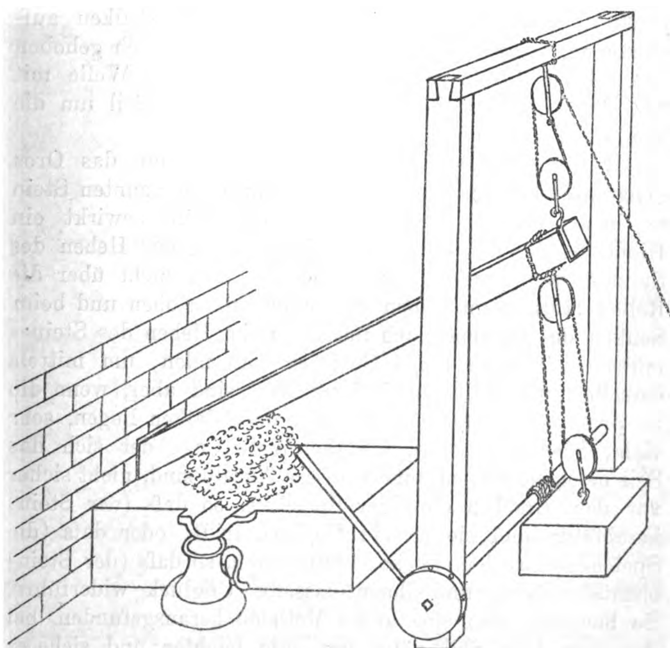


Fig. 56.

الفلاحة اعنى التى تعصر بها الانبذة والادهان ليس ببعيدة عمّا ذكرنا من استعمال الامخال فانّه قد يجب

Seite, nach der sich die Mauer neigt, der Länge der Mauer nach, einen Graben in die Erde. Darin legt man in kurzer Entfernung von der Mauer einen viereckigen Balken, und richtet zwischen der Mauer und dem viereckigen, in dem Graben liegenden Balken, andre Balken auf (die durch einen Querbalken verbunden sind). An dem Ende der senkrechten Balken bringt man Rollen an und führt über dieselben Seile nach dem „Winde“ genannten Werkzeug. Dann dreht man dieses Werkzeug, bis sich die Seile anspannen, und der Querbalken angezogen wird. Hierdurch werden die aufrechten Balken angezogen und neigen die Mauer bis sie dieselbe an ihren früheren Platz bringen. Wenn sie wieder an ihren Platz gebracht ist, läſst man sie eine Zeitlang durch diese Balken gestützt stehen, damit die Steine sich in einander setzen. Dann löst man die Balken los, und die Mauer steht in ihrem aufrechten Zustande fest.

13 Was zum Bewegen von Lasten notwendig ist, und was hierbei von Nutzen ist, das haben wir nun in genügender Weise auseinandergesetzt. Jetzt sind landwirtschaftliche Werkzeuge, nämlich solche, mit denen man Wein und Öl preſst, nicht weit abgelegen von der Anwendung der Hebel, die wir erwähnt haben; denn es ist notwendig dies darzulegen, und so viel davon zu erläutern, als man zu wissen braucht.

Der Oros genannte Balken, den Andre auch Presse nennen, ist nun nichts weiter als ein Hebel und sein Hypomochlion. Letzteres ist hier die Mauer der Presse, in welcher das Ende des Preſsbalkens angebracht ist. Die Last ist das um die zu pressenden Trauben geschlungene Netz, und die bewegende Kraft ist der am Ende des Preſsbalkens hängende Stein, genannt Lithos. Bei groſsen Preſsbalken zeigt es sich, daſs auch das Gewicht des Steines ein groſses ist, damit er zum Pressen stark genug

1) BCL اتينا من بيانه

وصيّروا تحت الطوف تلاليس[1] مملوّة رملا مشدودة[2] الاكفال[3] فركّبوا الطوف على التلاليس ثم اخذوا سفينتين فشدوهما بالقلوس عن جنبتى الطوف فى حائطيه ثم صيّروا الحمل على الطوف وحلّوا التلاليس وسبّلوا الرمل ثم سيّروا السفينتين فى البحر فنفذت تحمل الطوف ⊙

[١٢] وقوم احتالوا ايضا بان يسبّحوا[4] الحجارة العظام فى البحر بهذه الجهة وقوم احتالوا فى رفع الحيطان التى قد مالت فى الزلازل بهذه الجهة حفروا فى الارض فى الجهة التى مال اليها الحائط حفرا بطول الحائط ثم وضعوا فيه خشبا مربّعا بعيدا[5] عن الحائط بعدا يسيرا واقاموا خشبا آخر قائما فيما[6] بين الحائط والخشب المربّع الذى صيّروا فى الحفر ثم صيّروا فى اطراف الخشب القائم بكرا واجازوا عليها الحبال الى آلة تسمّى ملفّة ثم اداروا تلك الآلة حتى انجذبت الحبال وجذبت الخشبة المعترضة وانجذب بانجذابها الخشب القائم فيميّل الحائط حتى[7] ردّه الى موضعه فلمّا ردّه[8] الى موضعه تركوه[9] مشدودا بذلك الخشب زمانا لتستقرّ

1) CLK بلاليس 2) K مسدودة 3) B الاكمال LCK الاكفال de Vaux الاكوام 4) BCL سحوا 5) Codd. بعيدة 6) BCL om. 7) KCL فى 8) BCL ردوه 9) K نزلوه

mit Sand gefüllte Säcke, mit zugebundenen Öffnungen, und setzt das Flofs auf die Säcke. Dann nimmt man zwei Kähne, bindet sie mit Stricken zu beiden Seiten des Flofses an seinen Wänden fest. Danach bringt man die Last auf das Flofs, öffnet die Säcke, und läfst den Sand auslaufen. Dann läfst man die beiden Kähne in die See fahren, und sie durchschneiden sie, indem sie das Flofs tragen.

12 Andre dachten auf dieselbe Weise grofse Steinblöcke auf dem Meere schwimmend zu transportieren. Manche

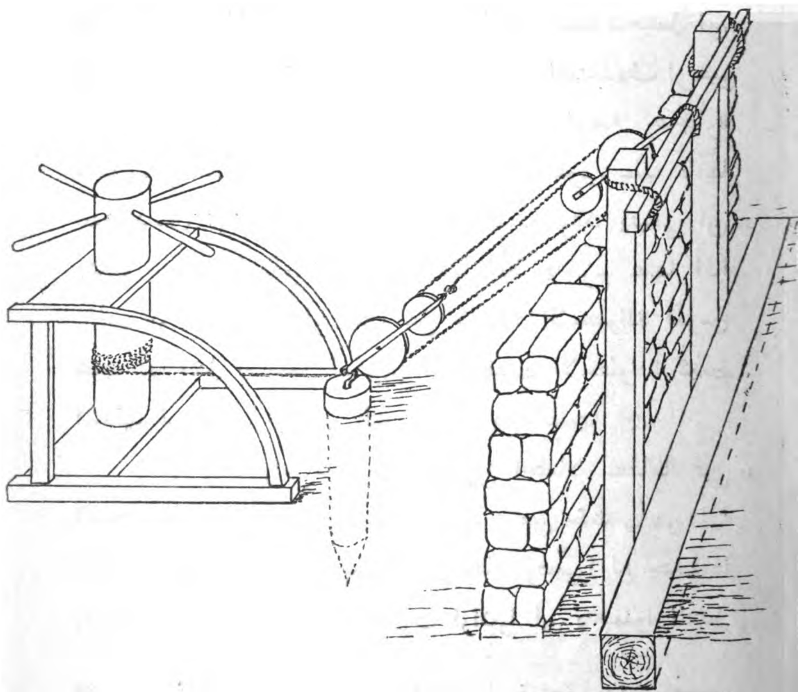


Fig. 55.

benutzten folgende Methode, um Mauern, die bei Erdbeben sich neigten, wieder aufzurichten. Man gräbt auf der

[١٠] وقد رام قوم ان يرفعوا بهذا العمل ايضا اساطين عظاما فيجلسوها[1] *على قواعدها[2] فى الموضع الذى يريدون وبهذه الحيلة ربطوا فى رأس الاسطوانة التى ارادوا رفعها حبالا واجروها الى بكر مشدودة فى برج ثابت وانفذوها حتى[3] خرجت الى الجهة الاخرى عن البكر ثم شدّوا فى اطرافها التى انفذت فى البكر اوعية تحتمل ان توضع فيها الحجارة واشياء ثقيلة اعنى كالصناديق او غير ذلك ممّا يشبهه ثم صيّروا فى تلك الاوعية حجارة مقتدرة واثقالا حتى توازن ثقل العمود وتقوى عليه فانّها عند ذلك ترفعه فيقوم قائما على قاعدته وقد ينبغى ان يشدّ اسفل الاسطوانة الى قاعدتها لئلا يخرج عنها اذا رفعت او يزول عنها او يلفّ على قاعدة الاسطوانة قلوس تصير لها مثل الاكليل ليكون اذا رفعت الاسطوانة ثبت اسفلها فى تلك القلوس التى قد اديرت عليها ⊙

[١١] وقد رام قوم ان يجروا احمالا عظاما فى البحر بهذه الحيلة فانّهم عملوا طوفا[4] من خشب مربعا[5] يشدّ بعضه[6] الى بعض بمسامير واوتاد وصيّروا له حيطانا وثيقة والقوه فى الماء[7] حيث ارادوا ان يحملوا الثقل

1) K فيجلبوبها 2) B om. 3) BCL اذا 4) B اطرفا K طرفا 5) LKC مرتفعا 6) Codd. بعضها 7) K المباء CL البناء

füllt man die Gefäſse mit ziemlich dicken Steinen und Gewichten, bis sie das Gewicht der Säule aufwiegen, und das Übergewicht darüber erreichen; denn so heben sie dieselbe und sie bleibt senkrecht auf ihrer Basis. Der

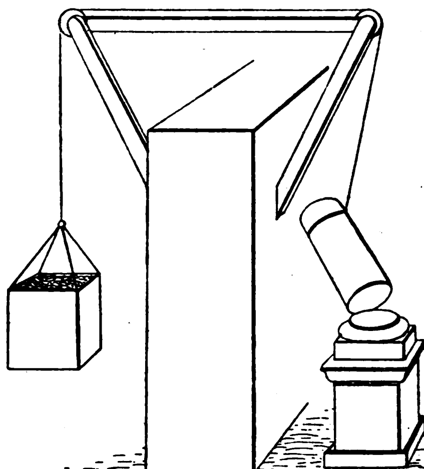


Fig. 54.

untere Teil der Säule muſs an die Basis festgebunden werden, damit er, wenn die Säule gehoben wird, die Basis nicht verlasse, oder sich von ihr weg bewege; oder man windet um die Basis der Säule Stricke, die sie wie ein Kranz umgeben, damit der untere Teil der Säule beim Heben fest in jenen Seilen ruht, die um dieselbe herumgelegt wurden.

11 Manche wollten nach folgender Methode groſse Lasten auf dem Meere bewegen. Man macht nämlich ein viereckiges Floſs aus Holz, dessen einzelne Teile mit Nägeln und Bolzen aneinander befestigt sind. Demselben macht man starke Wände, und bringt es ins Wasser, dahin wo man die Last aufladen will. Unter das Floſs legt man

المكان والزمان وما يحتاج اليه من غير هذا ايضا ونبيّن كيف ينبغى ان نستعمل فى كلّ واحد من هذه ⊙ فقد استعمل قوم فى احدار الحجارة الكبار من رؤس الجبال الشاهقة[1] حيلة لئلا يكون لانصباب الجبل يتحدّر الحجر لحيدة[2] نفسه فيقع على الدوابّ التى تجرّه والعجل فيتلفها فاستعملوا طريقين فى الجبل فى الموضع الذى ارادوا ان يحدروا الحجر فيه من اعلاه الى اسفله وسهّلوها بغاية ما يمكنهم واتخذوا عجلتين ذات[3] اربع[4] فلك وصيروا احداهما فى اعلى الطريق الذى ارادوا احدار الحجر فيها[5] والاخرى فى اسفل الطريق الآخر ثم شدّوا على ركن ثابت بين الطريقين[6] بكرا واجازوا من[7] العجلة التى تجرّ الحجر الى البكر حبالا وانفذوها الى العجلة الاخرى التى اسفل وصيّروا على تلك العجلة التى اسفل حجارة صغارا ممّا وقع لهم من نجارة الحجر الاعظم حتى ثقّلوها ثقلا ما اقلّ من الحجر الذى ارادوا احداره ثم شدّوا الى تلك العجلة دوابّ تجرها مصعدا فكان بصعود تلك العجلة قليلا قليلا ينحدر الحجر الاعظم الى اسفل انحدارا سهلا قليلا قليلا ايضا ⊙

---

1) BCL جبال شاهقة 2) B بجذبه K نحيده 3) L ذوات 4) K اربعة 5) K منها 6) BCL الطريقتين 7) LK om.

9 Die Arten, schwere Gegenstände zu heben und in die Höhe zu bringen, sind also die von uns erwähnten. Wir müssen aber Ort, Zeit und auch sonstige Erfordernisse in Betracht ziehen, und darlegen, wie wir gemäfs jedem einzelnen dieser Umstände verfahren.

Beim Herabschaffen grofser Blöcke von den Gipfeln hoher Berge wendet man eine Einrichtung an, damit nicht der Stein wegen der Abschüssigkeit des Berges durch seine eigne Abwärtsbewegung ins Rollen komme und auf die Zugtiere, die ihn ziehen und den Wagen falle und sie vernichte. Deshalb benutzt man bei dem Berge an dem Orte, wo man den Stein von oben nach unten herabschaffen will, zwei Wege, die man möglichst ebnet, und nimmt zwei vierräderige Wagen, deren einen man an die höchste Stelle des Weges, auf dem man den Stein herabschaffen will, den anderen an die tiefste Stelle des zweiten Weges stellt. Dann bringt man an einem festen Posten zwischen den beiden Wegen Rollen an, führt von dem Wagen, der den Stein trägt, Seile über die Rollen und läfst sie nach dem unteren Wagen gehen. Diesen unteren Wagen beladet man mit kleinen Steinen, die sich beim Behauen des grofsen Blockes ergeben, bis er mit einem etwas kleineren Gewichte, als das des herabzuschaffenden Steines ist, belastet ist. Hierauf spannt man an diesen Wagen Zugtiere, die ihn aufwärts ziehen, und durch das allmälige Aufsteigen dieses Wagens bewegt sich der grofse Stein ebenfalls leicht und allmälig nach unten.

10 Manche wollen nach diesem Verfahren auch grofse Säulen heben und sie auf ihre Postamente an einem beliebigen Orte niederlassen. Bei dieser Methode bindet man an den oberen Teil der Säule, die man heben will, Stricke, führt sie nach Rollen, die an einer festen Stütze angebunden sind, und zieht sie durch, bis sie auf der anderen Seite der Rolle heraus kommen. Dann bringt man an den Enden derselben, die durchgezogen wurden, Gefäfse an, in die man Steine und schwere Gegenstände legen kann, ich meine Kasten oder dergleichen. Darauf

الوتدين قد دخل فى الحفر الذى عن جنبتى سطح الحفر ويكون الوتد الثالث قد ملأ([1] ما بين الوتدين فصارت الثلاثة الاوتاد كهيئة جسم واحد ثم يشدّ على ذلك المحور النافذ فى الثلاثة الاوتاد قلوس تكون فيها بكر وتكون فى اعلى الآلة التى بها نرفع الثقل بكر اخر محاذية للتى فى الحجر فتنفذ القلوس فيها وتجبذ فانّ الحجر يرتفع لان الوتد الاوسط لا يدع الوتدين اللذين اطرافهما المعوّجة فى داخل الحجر توكّد ثم يرفع الى ان يحاذى الموضع الذى نريد ان يركّب فيه فيجلس على ذلك الموضع فاذا جلس الحجر فى موضعه اخرج المحور وقلع الوتد الاوسط واخرج كلّ واحد من الوتدين المعوّجة الاطراف ثم نركّب حجرا آخر ونعمل به* العمل الاول([2] ⊙ وقد ينبغى ان نتوقّى فى هذا العمل استعمال ما صلب من الحديد لئلا ينقصف ونتوقّى ايضا اللين منه لئلا ينعوّج وينقلب لثقل الحجر بل نستعمل منه ما كان متوسطا ليس شديد الصلابة ولا شديد اللين وينبغى ايضا ان يتوقى عطف شىء من الحديد وتتنبّه او شقّ يناله فى صنعته فان الخطاء فيه يعظم جدّا ليس لوقوع الحجر فقط لكن لانّه ينال الصنّاع ايضا اذا وقع ⊙

[٩] امّا الانواع التى نرفع([3] بها او نعلى الشىء الثقيل فانّها هذه التى ذكرنا وقد ينبغى ان نحتال فى

dieselben hindere, sich zu bewegen. Der dritte Pflock sei ebenfalls durchbohrt an seinem oberen Ende durch ein dem Loch der beiden ersten Pflöcke entsprechendes Loch. Dann fügen wir in die drei Löcher eine Achse, deren eines Ende dicker ist. Nun füllen die drei Pflöcke die Grube $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$, und die schiefen Teile zweier Pflöcke befinden sich in der Ausbuchtung, die zu beiden Seiten der Grubenfläche ist, während der dritte den Zwischenraum zwischen den zwei ersten ausfüllt; so sehen die drei Pflöcke wie ein einziger Körper aus. Hierauf befestigen wir die Seile an der durch die drei Pflöcke gehenden Achse, die zu einem Flaschenzug gehen. An dem oberen Teil der Maschine, mittels derer wir die Last heben, befinde sich ein dem am Stein angebrachten paralleler Flaschenzug; führen wir die Seile hierdurch und ziehen an, so hebt sich der Stein, weil der mittlere Pflock die beiden anderen, deren schiefe Teile im Stein festsitzen, nicht losläſst. Dann hebt man ihn, bis er dem Orte, an dem wir ihn einfügen wollen, gegenüber ist, und läſst ihn sich an diesem Platz setzen. Wenn der Stein an seinem Platze sitzt, wird die Achse herausgenommen und der mittlere Pflock und darauf die beiden Pflöcke mit schiefen Seiten entfernt; hiernach stellen wir einen andren Stein zurecht und verfahren mit ihm wie vorher.

Bei diesem Verfahren muſs man sich hüten zu hartes Eisen anzuwenden, damit es nicht zerbricht; man muſs sich aber auch vor zu weichem hüten, damit es sich nicht krümmt und biegt, wegen des Gewichtes des Steines, sondern man wendet mittleres, nicht zu hartes und nicht zu weiches, an. Man nehme sich auch in Acht vor einer Biegung oder Falte im Eisen, oder einem Riſs, der ihm während der Bearbeitung widerfahren könnte, denn ein Fehler darin ist sehr gefährlich, nicht allein, weil der Stein fallen könnte, sondern auch, weil er die Arbeiter trifft, wenn er fällt.

---

1) B سدّ 2) B هذا الذى وصفناه 3) K يرتفع

ثالثا حديدا[1] نركّبه بين هذين الوتدين ليمنع هذين الوتدين من ان يضطربا وليكن الوتد الثالث ايضا مثقوبا فى اعلاه ثقبا موازيا لثقبى الوتدين الآخرين ونركب

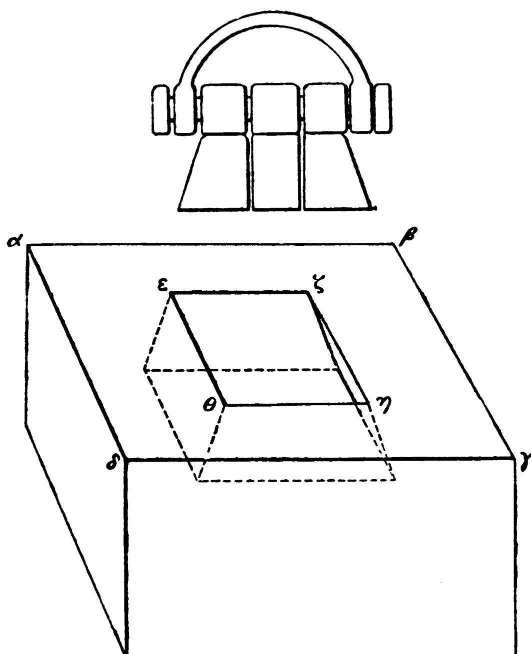


Fig. 53.

فى الثلاث الثقب محورا يكون احد طرفيه غليظا فتكون الثلاثة الاوتاد قد ملات حفر هزحط ويكون المعوّج من

1) Codd. وتد اخر ثالث حديد

die Seile müssen aufsen an ihnen mit den Rollen verbunden sein; wenn sie angezogen werden, heben sie den Stein.

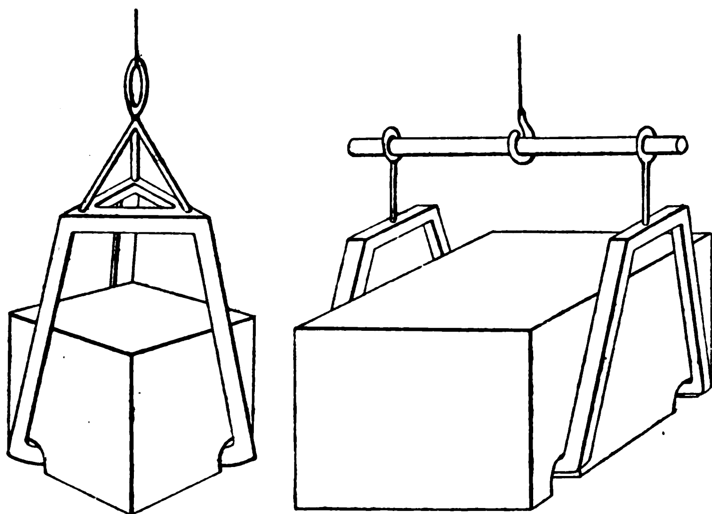


Fig. 52.

8 Zum selben Zwecke wendet man auch ein andres Verfahren an, das bequemer und sicherer ist, als dieses. Sei die Oberfläche des Steins mit $\alpha\beta\gamma\delta$ bezeichnet, und höhlen wir in denselben eine einem Rechteck ähnliche Figur, nämlich $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$, von gleichmäfsiger Tiefe. Diese Grube habe scharfe Seiten d. h. sie habe auf zwei Seiten eine ziemliche Ausbuchtung. Über dieser Ausbuchtung sei sie sehr stark, damit sie den Stein, der an ihr hängt, trage. Wir benutzen nun zwei eiserne Pflöcke, deren Seiten schief seien, ähnlich dem Buchstaben Gamma. Oben sei ein Ring oder ein Loch an ihnen; dann setzen wir jeden der beiden Pflöcke in eine Seite der Grube und bringen den schiefen Teil derselben in die schiefe Ausbuchtung, machen noch einen dritten Pflock von Eisen, den wir zwischen die beiden ersten einfügen, damit er

اعنى فى اطراف القوائم وشدّت بحبال ورفعت فانّها* تقل الحمل(1 وقد ينبغى ان يصيّر فى اطراف هذه القوائم عوارض يجمع بعضها الى بعض خارج الحجر فى اطرافها* لكى لا(2 تكون اذا تعلّق الحجر* عليها فقلّت فيقع الحجر(3 لكن تكون هذه العارضة تشدّ بعضها الى بعض وتكون الحبال مشدودة عليها خارجة منها الى البكر فاذا مدّت رفعت الحجر ⊙

[٨] وقد نستعمل(4 فى هذا عملا(5 آخر اسهل من ذلك واكثر وثاقة منه فلنكن قاعدة الحجر التى عليها ابجد ولنحفر فيها حفرا شبيها بالمتوازى الاضلاع وهو هزحط وليكن معتدل العمق وليكن حفره مورّب الجوانب اعنى ان يكون له فى اسفله من الجانبين غور مقتدر ويكون على ذلك الغور صلبا ليجرّ الحجر الذى عليه ونستعمل وتدين(6 من حديد تكون اطرافهما(7 معوّجة كهيئة حرف غما(8 وليكن فى اعلاها حلق او ثقب ثم نركّب كلّ واحد منهما فى جانب من الحفر وندخل المعوّج منه فى الحفر المورّب ونعمل ايضا(9 *وتدا آخر

---

1) K تحمل الثقل 2) K لئلا 3) B om. 4) BC يستعمل 5) BCL عمل 6) KL وتد 7) Codd. اطرافها 8) K عما٦ LC عماب sive عماق B عمال كذا وجدت 9) Codd. الى

veranschaulichte. Es ist nämlich jede von den Flächen $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$ und $\varkappa\lambda\mu\nu$ ein Rechteck; $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$ sei breiter als $\varkappa\lambda\mu\nu$. In der Länge aber seien sie einander gleich, d. h. die Linie $\varkappa\lambda$ sei gleich der Linie $\varepsilon\eta$. Dann graben wir diese Figur tief in den Stein, die Tiefe der Grube entspreche dem Gewicht des Steines. Die Grube der Fläche $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$ sei durchaus senkrecht, die der Fläche $\varkappa\lambda\mu\nu$ aber schief, d. h. der untere Teil sei weiter als der obere, so daſs eine Grube wie ein Holzschloſs entsteht. Der enge Teil sei gleich $\varkappa\lambda\mu\nu$, der breite gleich $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$. Dann machen wir einen ebenfalls wie ein Holzriegel aussehenden Körper von Eisen, der in diese Grube passt, an dessen oberem Teil ein Ring angebracht ist, und der in die Grube $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$ geht, so daſs er ganz darin ist; darauf schiebt und stöſst man ihn, bis er in die Muttergrube ($\varkappa\lambda\mu\nu$) geht, ohne sich zu bewegen. Nun legt man in die Grube $\varepsilon\zeta\eta\vartheta$ ein Holz, damit das Eisen nicht herausrutscht. Alsdann bringt man an den an dem eisernen Pflock befindlichen Ring die Seile an, die die Schleuder trugen, worin der Stein lag, und hebt ihn auf diese Weise, bis er an den beabsichtigten Ort gelangt, ohne daſs ihn etwas hindert. Wenn der Stein an seiner Stelle eingefügt ist, wird der Holzpflock wieder entfernt, das Eisen herausgezogen, um darauf in einen andern Stein eingefügt zu werden, der ebenfalls in die Höhe gehoben wird.

7 Steine lassen sich auch mittelst der „Krebse“ genannten Werkzeuge heben, wenn sie drei oder vier Stützen haben, und ihre Enden umgebogen sind, so daſs sie aussehen wie Angelhaken, und diese Haken in die Seiten der Last gebracht werden. Über ihre (der Stützen) Enden werden Querhölzer gelegt und mit Stricken befestigt, dann in die Höhe gehoben, so daſs sie die Last heben. An den Enden dieser Stützen müssen wir die Querhölzer so anbringen, daſs sie sich auſserhalb des Steins mit ihren Enden vereinigen, damit der Stein, wenn er an ihnen hängt und in die Höhe geht, nicht etwa herabfalle, sondern diese Querhölzer müssen zusammengebunden sein, und

حفر سطح هزحط قائم الزوايا مستقصى قيامها وأمّا سطح كلمن فمورّب[1] الحفر اعنى ان يكون اسفله اوسع من اعلاه فيكون حفرا كهيئة القفل[2] الخشب يكون الضيق منه مساويا لكلمن والعريض منه مساويا هزحط ونعمل جسما كهيئة القفل الخشب ايضا من حديد يتراكب على هذا الحفر يكون فى اعلاه حلقة متّصلة به فيصيّر فى حفر هزحط حتى يعبّر[3] فيه ثم يدفع ويدار[4] حتى يصير فى الحفر الانثى حتى لا ينقلع ثم يركّب على حفر هزحط خشب لئلا تندفع[5] الحديدة ثم نصيّر فى الحلقة المتّصلة بالوتد الحديد الحبال التى كانت تحمل المقلاع الذى كان يكون الحجر فيه* فينقل بهذا العمل حتى يصير فى لموضع الذى نريد بلا[6] ان يكون يمنعه شىء فاذا ركّب[7] الحجر فى موضعه خلعت[8] تلك الاوتاد ونزعت الحديدة ثم ركبت فى حجر آخر* ويرتفع ايضا[9] ⊙

[٧] وقد تتعالى[10] الحجارة ايضا بالآلات التى تسمّى السراطين اذا كانت ذات ثلاث قوائم او اربع وعوّجت اطرافها حتى تصير[11] كهيئة الشصاص وركبت هذه الشصاص فى جانب الحمل وصيّر فى اطرافها عوارض

1) Codd. مورب 2) B العقل 3) B om. 4) B om. 5) Codd. add. من 6) B om. 7) BCL يركّب 8) K قلعت 9) KL om. 10) K تعالى 11) B om.

treffen. Nun bringen wir die Seile des Flaschenzugs an dem Stein an, ziehen dieselben, und die Last hebt sich.

Man mufs sich aber bei den mechanischen Werkzeugen hüten, Nägel oder Pflöcke anzuwenden, und zwar überhaupt bei jeder Last, besonders aber bei grofsen Lasten; dagegen wenden wir Seile und Stricke an, und binden damit zusammen, was wir wollen, anstatt etwas nageln zu wollen.

6 Weil es nun bei dem wie eine Schleuder aussehenden Werkzeug, mit dem man die Steine in die Höhe hebt, manchmal vorkommt, dafs es hinderlich ist, den Stein an

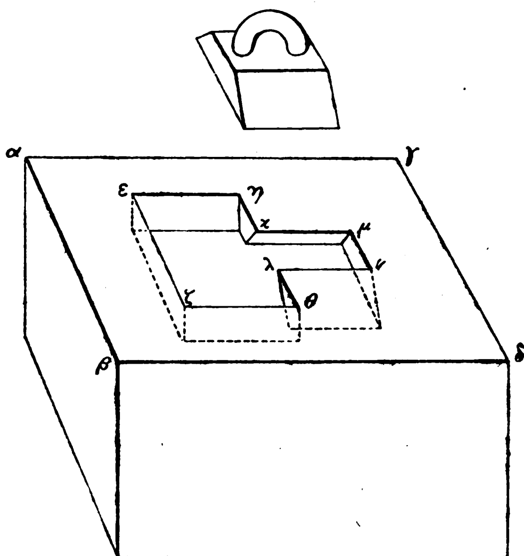


Fig. 51.

die Stelle zu setzen, an die man ihn setzen mufs, so wenden wir das Instrument an, das „Aufhänger" genannt wird. Wir zeichnen auf der Oberfläche des Steines, nämlich der Fläche $\alpha\beta\gamma\delta$, eine Figur wie die in der Zeichnung

بعضها ببعض شدّا مخالف[1] الترتيب[2] ليربط[3] جميع الاركان بعضها ببعض ثم نشدّ البكر فى وسط هذه[4] الخشب على العلامة التى تلاقى الاعواد بعضها بعضا عليها ثم نشدّ الحجر فى تلك الحبال التى فى البكر ونجبذها فيرتفع الحمل ⊙ فقد ينبغى ان نتوقّى فى جميع آلات الحيل من ان نستعمل مسامير واوتادا وبالجملة كلّما يكون فى ثقل[5] ولا سيّما فى الاثقال العظام لكنّا نستعمل الحبال والقلوس فنشدّ بها ما نريد مكان الشىء الذى نريد ان نسمّره ⊙

[٦] ومن اجل انه قد يعرض[6] للآلة التى كهيئة المقلاع التى بها يرتفع[7] الحجر ان تمنع من تركيب الحجر فى الموضع الذى نحتاج[8] ان يركّب فيه فانّا نستعمل هذه الحيلة وهى التى تسمّى علقا[9] نرسم على قائدة الحجر التى هى سطح ابجد شكلا مشابها للشكل المرسوم وهو ان يكون كل واحد من سطحى هزحط كلمن متوازى الاضلاع وليكن هزحط اعظم عرضا من كلمن فامّا فى الطول فليكونا متساويين اعنى ان يكون خط كم مساويا لخط هح ثم نحفر هذا الشكل فى عمق الحجر وليكن عمق الحفر على قدر ثقل الحجر وليكن

1) K مخالفا 2) BCL ترتيب K om. 3) K لتربيط 4) Codd. هذا 5) Codd. ثقب 6) K يعارض 7) BCL يرفع 8) BCL add. اليه 9) B على K مملق CL علق

eine Last nach einem Orte bringen müssen, um den herum wir dieses Werkzeug aufstellen können, so benutzen wir es dabei.

Was nun das Werkzeug mit vier Stützen angeht, so wird es bei übergroſsen Lasten angewendet. Es besteht darin, daſs man vier Pfeiler von Holz in der Form eines viereckigen Geheges mit parallelen Seiten aufstellt, so

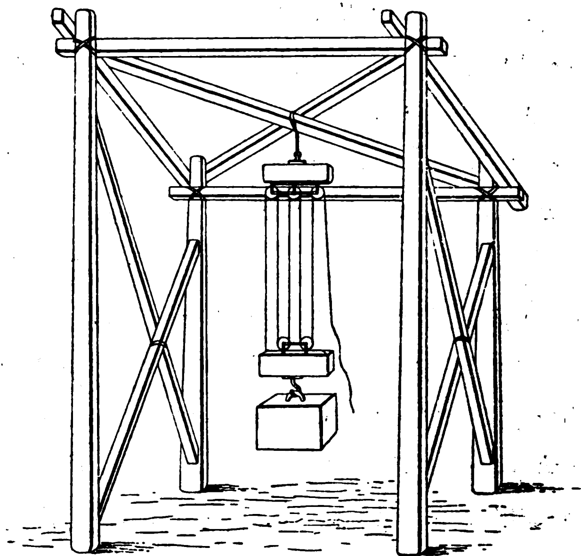


Fig. 50.

weit auseinander, daſs der Stein sich darin leicht bewegen und heben läſst. Dann befestigen wir an den Enden dieser Stützen Holzstücke, die mit einander verbunden sind, und zwar fest und sicher. Auf diese Holzstücke legen wir in entgegengesetzter Ordnung (d. i. diagonal) wieder andre, damit alle Stützen mit einander verbunden sind. Hierauf befestigen wir den Flaschenzug in der Mitte dieser Hölzer, in dem Punkte, in welchem sich die Hölzer einander

تعمل على هذه الجهة نعمل ثلاثة اركان بعضها مائل الى بعض تجتمع اطرافها على علامة واحدة ونشدّ على تلك العلامة التى اجتمعت الثلاثة الاركان عليها[1] بكرة كثيرة الرفع ويكون بعضها مشدودا على الحمل فاذا جذبت[2] قلوس البكر ارتفع الحمل * وهذه الآلة قاعدتها اوثق وآمن من غيرها ولكن ليس يصلح ان تستعمل فى كلّ موضع نريد لكن فى الموضع الذى نريد ان نرفع الحمل[3] فى وسط هذه الآلة فاذا[4] احتجنا ان ننقل حملا الى موضع يمكن ان نصيّر هذه الآلة تحيط بوسطه استعملناها[5] *عند ذلك[6] ⊙

[٥] وأمّا الحيلة التى هى ذات اربع قوائم فانّها تستعمل فى الاثقال المفرطة فى العظم وهى ان يقام اربعة اركان من خشب تكون حلقتها[7] كحلقة[8] مربّع متوازى الاضلاع وليكن فى سعته على المقدار الذى يمكن الحجر ان يضطرب فيه ويتعالى بسهولة ثم نشدّ على اطراف هذه الاركان خشبا نصل بعضها ببعض وليكن ذلك باحكام ووثاقة ثم نصير ايضا على هذه[9] الخشب خشبا أخر نشدّ

1) LK عليه 2) LCK اخذت 3) B om. 4) B فان
5) B add. فى 6) LCK فيه 7) BCL خلفها 8) B الخلقة
9) Codd. هذا

den Händen oder durch Zugtiere, und so hebt sich die Last. Damit diese Stützbalken aufrecht bleiben, müssen sie mit Seilen, wie vorher beschrieben, angebunden sein. Dann bringen wir den Stein in die nötige Lage und transportieren den Sockel nach der anderen Seite des Baues, je nachdem es nötig ist.

4 Die Maschine mit drei Pfeilern wird in folgender Weise gemacht. Wir machen drei gegeneinander geneigte Pfeiler, deren Spitzen sich in einem Punkte treffen, und befestigen in diesem Punkte, in dem sich

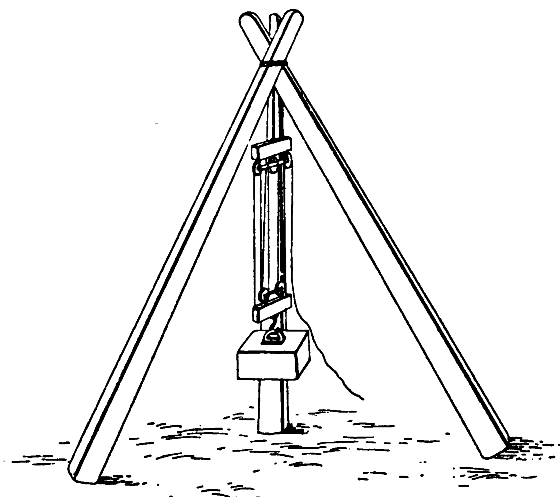


Fig. 49.

die drei Balken treffen, einen Flaschenzug, dessen andrer Teil an der Last befestigt ist. Wenn nun die Seile des Flaschenzuges angezogen werden, so hebt sich die Last. Die Basis dieses Werkzeuges ist fester und sicherer als eine andre, aber sie läſst sich nicht gut an jedem Orte anwenden, sondern nur an Orten, wo wir die Last in der Mitte dieses Werkzeuges heben wollen. Wenn wir also

نريد[1] فاذا فعلنا ذلك رددنا الركن الى موضعه من الجهة الاخرى التى تلى البنا ثم نشدّه ايضا ونستعمل فيه مثل العمل الاول ⊙

[٣] فامّا الحيلة التى هى ذات ركنين فانّها تعمل بهذا العمل نستعمل الآلة التى تسمى اودوس[2] ونركّب عليها الاركان ولتكن تميل الى الجهة العليا ميلا يسيرا يكون قدر خمس* من البعد[3] السفلانى ثم نشدّ الركنين على هذا الاودوس ليجتمع[4] طرفيهما[5] بعضها الى بعد ونصيّر فى اطراف الاركان عارضة اخرى تشدّ عليها بكرة[6] *كثيرة الرفع ولتكن بكر اخر[7] مشدودة فى الحجر ثم[8] نمدّ ذلك الحبل مثل العمل الاول إمّا بالايدى وإمّا[9] بدوابّ[10] فيرتفع الثقل* ولتعالى هذه[11] الاركان ينبغى ان تكون مرتبطة[12] بالحبال[13] كالربط[14] الذى وصفنا اولا ثم نضع الحجر وننقل ذلك الاودوس الى الجهة الاخرى من البناء على قدر ما تدعو الحاجة اليه ⊙

[٤] فامّا الحيلة التى هى ذات ثلاثة اركان فانّها

---

1) K تريده والله هو الموفق 2) B اودس 3) Codd. البعد من 4) BCL ليجمع 5) BCL طرفهما 6) Codd. add. BCL اخر K اخرى 7) B. om. 8) LK om. 9) K او 10) K بدوار 11) B ويتعالى وهذه 12) B مربوطة CL مربطة 13) LC بالحبل 14) LC كالرباط

darunter an, auf denen wir sie laufen lassen, oder treiben sie mittels Hebels so weit, bis wir sie an die beabsichtigte Stelle bringen. Wenn das geschehen ist, bringen wir den Balken wieder in seine Lage, nach der uns zugelegenen Seite zu, befestigen ihn wieder und verfahren mit ihm, wie das vorige Mal.

3 Die Maschine mit zwei Stützen wird auf folgende Weise hergestellt. Man wendet das οὐδὸς genannte Werkzeug an und errichtet darauf die Stützen. Diese mögen sich nach oben hin etwas neigen, etwa um ein Fünftel ihres unteren Abstandes. Dann befestigt man die beiden

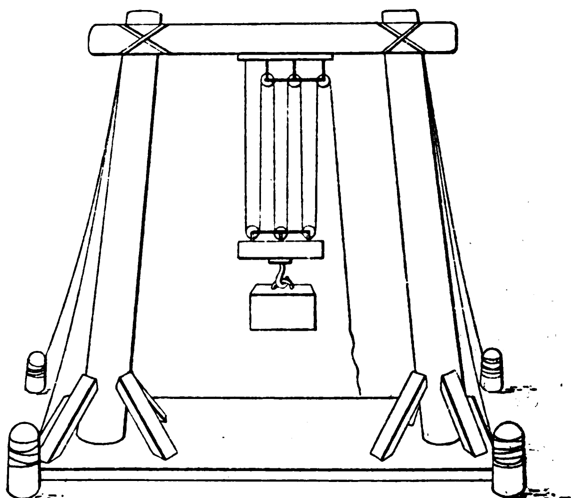


Fig. 48.

Stützen auf dem Sockel, so dafs ihre beiden (unteren) Enden mit einander verbunden sind, und bringt an den (oberen) Enden der Stützen einen anderen Querbalken, an dem ein Flaschenzug befestigt ist, an. Ein andrer Flaschenzug befinde sich an dem Stein. Darauf zieht man das Seil an, wie beim vorigen Mal, entweder mit

لم يكن ذلك العود فى نفسه صلبا فينبغى ان ننظر فى قدر الثقل الذى نريد ان نرفعه لان لا تكون قوّة الثقل اعظم من قوّة تلك القائمة* فنقيم تلك القائمة([1] مستوية على خشبة تكون مضطربة فيها ونربط فى اعلى ذلك الركن ثلاثة([2] حبال او اربعة ونشدّها الى اركان ثابتة شديدة الثبات فنشدّ الحبال عليها ثم نصيّر فى طرف هذا الركن بكرا تشدّ اليه([3] بحبل ونربط القلوس التى فى البكر بالحمل الذى نريد ان ننقله ثم نمدّ([4] القلوس إمّا بالايدى وإما بآلة اخرى فاذا تعالى الحمل* وان احتجت([5] ان تصيّر الحجر على حائط او على اىّ موضع اردت تحلّ الحبل الذى فى احد الاركان الثابتة التى تمدّ الركن الذى البكرة مشدودة فيه الى ضدّ الجهة التى تريد ان تضع الحجر فيها فيميل ذلك الركن الى تلك الجهة وتدفع([6] الحبل الذى فى البكرة* قليلا قليلا الى الموضع الذى تريد ان تجلسه فيه فان لم تكن([7] تبلغ من ميل الركن الذى البكرة([8] عليه مشدودة ما يودى الثقل المرفوع الى الموضع الذى نريد صيّرنا تحته خشبا مستديرا نمشيه عليه او ندفعه بالمخل حتى نصيره فى الموضع الذى

---

1) B om. 2) Codd. ثلاث 3) LK اليها 4) BC تمدّ
5) Codd. واحتجت 6) Codd. ترفع 7) BCL om. 8) B om.

der Stütze Rollen an, die mit Stricken darangebunden werden, und befestigen die Seile der Rollen an der Last, die wir heben wollen. Hierauf ziehen wir die Seile an, entweder mit den Händen, oder mit sonst einem Werkzeug, und die Last hebt sich alsdann. Wenn man nun einen

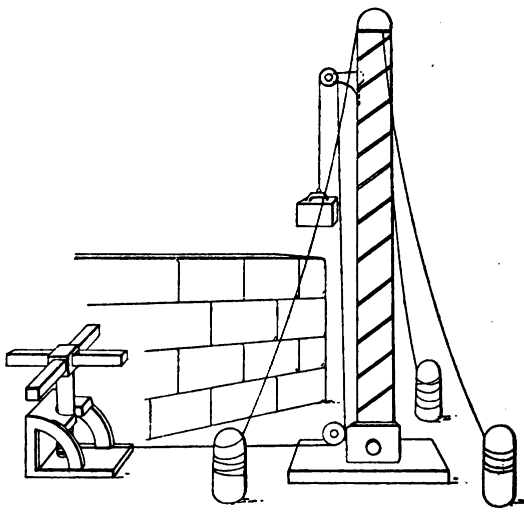


Fig. 47.

Stein auf eine Mauer oder an einen beliebigen Ort bringen will, so löst man das Seil an einem der festen Stützpunkte, welche den Stützbalken, an dem die Rollen befestigt sind, halten, und zwar auf der entgegengesetzten Seite als die, nach welcher man den Stein bringen will, und der Balken neigt sich nach jener Seite; dann läſst man das Seil an der Rolle langsam herab bis zu dem Orte, wo man den Stein einsetzen will. Wenn man aber den Stützbalken, an welchem die Rolle befestigt ist, nicht soviel neigen kann, um die gehobene Last an den beabsichtigten Ort gelangen zu lassen, so bringen wir Walzen

مفروضة فهذه اللجآت تصيّر عليها الاثقال وتشدّ فى اطرافها حبال او شىء آخر ممدود تجرّ اللجآت به وهذه القلوس إمّا ان تمدّ بالايدى وإما باجسام(1 اخر واذا مدّت القلوس سارت اللجآت على الارض وقد يصيّر تحت اللجآت خشب مستدير دقيق او الاواح لتتحرّك اللجآت عليها فان كان الحمل صغيرا فانّه ينبغى ان نستعمل الخشب المستدير وان كان الثقل عظيما فينبغى ان نستعمل الالواح لانها لا تتحرّك سريعا وذلك انّ الخشب المستدير اذا تدحرج تحت الحمل يندقّ تحت الحمل لشدّة سرعة حركته وقوم لا يستعملون ألواحا ولا خشبا مستديرا ولكنهم صيّروا فى اطراف اللجآت فلكا صلبة تتحرّك عليها ⊙

[٢] وقد نحتاج فى رفع الاشياء الثقيلة الى العلو الى حيل ما فمنها ما هو ذو قائمة واحدة ومنها ما هو ذو قائمتين ومنها ما هو ذو ثلث ومنها ما هو ذو اربع قوائم أما التى هى ذات قائمة واحدة فانّها تكون على هذه الجهة ناخذ خشبة طويلة لها ارتفاع اعظم من البعد الذى نريد ان نرفع الثقل اليه فان كان هذا العود فى نفسه صلبا ناخذ قلسا فنشدّه عليه ونلفّه على بعد متساو وليكن الخطّ(2 القائم الذى بين كلّ لفّة قدر(3 اربعة اشبار فتزداد قوّة العود ويكون التفاف القلس عليه كدرج لمن يريد يعمل شيئًا ما فى اعلى العود وتكثر به سهولة العمل فان

werden entweder mit den Händen gezogen, oder mit sonstigen Werkzeugen. Wenn nun die Seile angezogen werden, so gleiten die Kröten auf der Erde. Unter den Kröten bringt man dünne Hölzer oder auch Platten an, damit sich die Kröten auf denselben bewegen. Wenn die Last leicht ist, mufs man runde Hölzer anwenden, wenn sie aber schwer ist, Platten, weil sich dieselben nicht schnell bewegen lassen. Denn wenn die Walzen unter der Last rollen, werden sie unter derselben zerquetscht, wegen der starken Geschwindigkeit ihrer Bewegung. Manche Leute wenden weder Platten noch Walzen an, sondern machen an die Enden der Kröten harte Rollen, auf denen sie sich bewegen.

2 Um schwere Gegenstände in die Höhe zu heben, hat man Maschinen nötig; einige von diesen haben eine Stütze, andre zwei, wieder andre drei und manche haben vier Stützen. Diejenige mit einer Stütze hat folgendes Aussehen. Wir nehmen einen langen Balken von gröfserer Höhe als die Entfernung, zu welcher wir die Last heben wollen. Wenn auch dieser Balken in sich selbst fest ist, so nehmen wir doch ein Seil, binden es daran fest und schlingen es in gleichen Abständen darum; die zwischen den einzelnen Windungen gemessene senkrechte Linie sei vier Handbreiten. So wird die Kraft des Holzes erhöht und die darum befindlichen Seilwindungen sind wie eine Treppe für jemand, der oben an dem Balken etwas zu thun hat, wodurch die Arbeit erleichtert wird.

Wenn aber jener Balken nicht stark genug in sich selbst ist, so müssen wir den Betrag der Last, die wir heben wollen, berücksichtigen, damit nicht die Kraft der Last gröfser werde, als die Kraft jener Stütze. Wir stellen also die Stütze lotrecht auf ein Holz, in welchem sie sich bewegen kann, und binden oben an diese Stütze drei oder vier Seile, ziehen sie nach soliden, festen Stützpunkten und befestigen sie daran. Dann bringen wir an dem Ende

1) BCL اجسم 2) Codd. الحبل 3) K قدرة

المقالة الثالثة من كتاب ايرن

فى رفع الاشياء الثقيلة

[ا] امّا فى المقالة التى قبل هذه فقد قلنا فى الخمس قوى وبيّنّا العلل التى تحرّك[1] بها الاثقال العظيمة بقوّة يسيرة واثبتنا فى ذلك فيما نظنّ اكثر ممن كان قبلنا وبيّنّا العلّة[2] لم صار يتبع الآلات العظيمة القوّة الابطاء وبيّنّا اشياء أخر ينتفع بها المتعلّمون فى الميل[3] والكبس فيها كفاية للمتعلمين فامّا فى هذه المقالة فانا نكتب حيلاً ننتفع بها فى تسهيل ما تقدّم وجوده واستعماله[4] تعين ايضا على حركة الاجسام الثقيلة وايضا نعمل آلات[5] ننتفع بها فى العصر لان هذه ايضا تحتاج الى قوّة عظيمة فى استعمالها ⊙ أما الاشياء التى تجرّ على الارض فانها تجرّ على اللجآت[6] واللجأة هى[7] جسم ثابت معمول من خشب مربع اطرافه

---

1) K يحول 2) K add. فى 3) BCL الحيل 4) LK استعماله 5) BCL الآلات 6) B لجابات et اللجايات C لجاباى L الحابات et اللحابات K لحاتات 7) BCL وهى

DIE MECHANIK
DES HERON VON ALEXANDRIA.

DRITTES BUCH.

1 In dem vorhergehenden Buche haben wir über die fünf Potenzen gesprochen, und die Ursachen auseinandergesetzt, nach welchen sich groſse Lasten mittels kleiner Kräfte bewegen lassen, und haben darüber, nach unserm Dafürhalten, ausführlicher gehandelt als unsere Vorgänger; auch haben wir den Grund dargelegt, weshalb bei Werkzeugen von groſser Kraft eine Verzögerung eintritt, und haben andre Dinge klar behandelt, welche den Studierenden, wo es sich um Neigung und Druck handelt, von groſsem Nutzen sind, Dinge, mit denen sich die Studierenden begnügen können.

In diesem Buche werden wir Maschinen beschreiben, die nützlich sind, um das zu erleichtern, dessen Vorhandensein und Gebrauch bereits gezeigt wurde, und die ebenfalls für die Bewegung schwerer Körper förderlich sind. Auſserdem werden wir Werkzeuge konstruieren, durch die wir Nutzen haben beim Pressen, weil auch diese beim Gebrauche eine groſse Kraft verlangen.

Lasten, die auf dem Erdboden gezogen werden, werden es auf „Kröten“. Die „Kröte“ ist ein fester Körper, der aus einem viereckigen Holz, dessen Enden abgerundet sind, verfertigt ist. Auf diese Kröten legt man die Lasten und befestigt an ihren Enden Seile oder sonst etwas zum Ziehen Dienendes, womit man die Kröten fortbewegt. Diese Seile

من علامتى ه د ونصل ز ح ونقسمه على علامة ط قسمة يكون جميع ا ب عند جميع د ه مثل ح ط عند ط ز فتكون علامة ط مركز الثقل المجتمع من علامات ا ب د ه ولنصل علامتى ج ط بخطّ ج ط ونقسمه على علامة ك قسمة يكون خطّ ج ك عند ك ط كثقل ا ب د ه عند ثقل ج فاذًا علامة ك مركز الثقل المؤلّف من الجميع ⊙

تمّت المقالة الثانية من كتاب ايرن

فى رفع الاشياء الثقيلة ⊙

ist der Punkt η der Punkt für das Gesamtgewicht der beiden Punkte ε, δ. Ziehen wir nun $\zeta\eta$ und teilen es im Punkte ϑ so, dafs sich $(\alpha + \beta)$ zu $(\delta + \varepsilon)$ verhält, wie $\eta\vartheta$ zu $\vartheta\zeta$, so ist der Punkt ϑ der Punkt für das Gesamtgewicht von $\alpha\beta\delta\varepsilon$. Verbinden wir noch die beiden Punkte γ, ϑ durch die Linie $\gamma\vartheta$ und teilen sie im Punkte $\varkappa$ so, dafs sich $\gamma\varkappa$ zu $\varkappa\vartheta$ verhält, wie das Gesamtgewicht von $\alpha\beta\delta\varepsilon$ zum Gewichte von γ, so ist der Punkt $\varkappa$ der Punkt für das aus allen zusammengesetzte Gewicht.

Ende des zweiten Buches des Heron über das Heben schwerer Gegenstände.

د ملفوظ فاذًا[1] الثقلان اللذان عند بج ملفوظان ولكن الثقل الذى عند ا ملفوظ فاذًا الاثقال التى على القوائم ملفوظة ⊙

[٤٠] نريد ان نستخرج اذا كان مثلّث ابج وكانت اثقال ما معلومة معلّقة[2] على علامات ابج علامةً فى داخل المثلّث اذا علّق بها المثلّث يعتدل نقسم خطّ اب على علامة د قسمة يكون خطّ بد عند دا كالثقل الذى عند ا الى الثقل الذى عند ب فيكون مركز الثقل المجتمع من الثقلين على علامة د فلنصل علامتى دج بخطّ دج ونقسمه على علامة ه قسمة يكون خطّ جه عند هد مثل ثقل د عند ثقل ج فتكون علامة ه مركز الثقل المجتمع من الجميع فاذًا هى علامة العلاقة ⊙

[٤١] نريد ان نبيّن ذلك فى شكل كثير الاضلاع فليكن شكل ابجده كثير الاضلاع ولنعلّق على علامات ابجده اثقالا معلومة ونقسم خطّ اب على علامة ز قسمة يكون خطّ بز عند زا مثل ثقل ا عند ثقل ب فتكون علامة ز مركز الثقلين اللذين عند اب ولنقسم ايضا خطّ ده على علامة ح قسمة يكون خطّ دح عند خطّ حه مثل ثقل ه عند ثقل د فتكون علامة ح مركز الثقل المجتمع

1) Codd. فاك 2) LC om.

des Dreiecks einen solchen Punkt finden, dafs das Dreieck, wenn es in demselben aufgehängt wird, sich im Gleichgewicht befindet. Wir teilen die Linie $\alpha\beta$ im Punkte δ so, dafs sich $\beta\delta$ zu $\alpha\delta$ verhält, wie das Gewicht bei α zum Gewicht bei β. Dann ist der Punkt für das Gesamtgewicht der beiden Lasten im Punkte δ. Verbinden wir nun die beiden Punkte δ und γ durch die Linie $\delta\gamma$ und teilen sie im Punkte ε so, dafs sich $\gamma\varepsilon$ zu $\varepsilon\delta$ verhält, wie das Gewicht von δ zum Gewichte von γ, so ist der Punkt ε der Punkt für das Gesamtgewicht aller und daher der Aufhängepunkt.

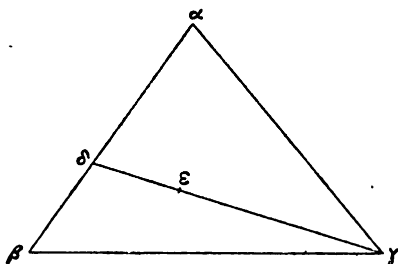


Fig. 45.

41 Wir wollen dasselbe für ein Vieleck zeigen. Sei die Figur $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$ ein Vieleck. Hängen wir an den Punkten $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$ bekannte Gewichte auf und teilen die Linie $\alpha\beta$ im Punkte ζ so, dafs sich die Linie $\beta\zeta$ zu $\zeta\alpha$ verhält, wie das Gewicht α zum Gewichte β, so ist der Punkt ζ der Schwerpunkt für die beiden Gewichte bei α und β. Teilen wir auch die Linie $\delta\varepsilon$ im Punkte η so, dafs sich die Strecke $\delta\eta$ zu $\eta\varepsilon$ verhält, wie die Last ε zur Last δ, so

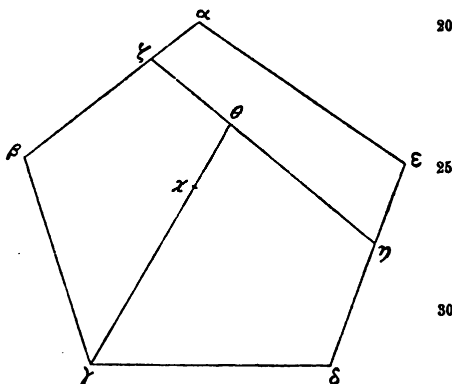


Fig. 46.

ولكنّا إن توهّمنا خطّ اد معتدل الميل عند تعلّقه على علامة ه يكون الثقل الذى عند د ضعف الثقل الذى عند ا لأنّ خطّ اه ضعف خطّ هد فان توهّمنا الثقل الذى عند د منقسما على علامتى بج وكان خطّ بج معتدلا يكون عند كلّ واحدة من علامتى بج نصف الثقل الذى عند د لأن خطّى بد دج متساويان وقد كان الثقل الذى عند د* ضعف الثقل الذى عند ا[1] فاذا الاثقال التى عند علامات ابج متساوية فاذًا القوائم تحمل اثقالا متساوية ⊙

[٣٩] وايضا فليكن مثلث ابج متساوى الثقل والثخن على قوائم متساوية الوضع وليكن على علامة ه[2] ثقل ما موضوعا او معلّقا ولتكن علامة ه[2] واقعة حيثما وقعت فنريد ان نستخرج كم تحتمل كلّ واحدة من القوائم من ثقل ه فلنصل ها ونخرجه الى د ونقسم الثقل الذى عند ه بقسمين يكون اذا قوّم المثلّث على خطّ اد يعتدل فيكون الثقل الذى عند د* عند الثقل الذى عند ا مثل خطّ اه عند خطّ هد ولنقسم الثقل الذى عند د[3] قسمة يكون اذا علّق بج يعتدل فيكون ثقل ج عند ثقل ب مثل خطّ بد عند خطّ دج والثقل الذى عند

1) LC om. K add. نصف الثقل الذى عند د 2) BCL om. 3) B om.

denken, wenn sie im Punkte ε aufgehängt ist, so ist die Last bei δ das Doppelte derjenigen bei α, weil die Linie $\alpha\varepsilon$ das Doppelte der Linie $\delta\varepsilon$ ist. Und wenn wir uns das Gewicht bei δ auf die beiden Punkte β, γ verteilt denken, und die Linie $\beta\gamma$ im Gleichgewicht ist, so ruht in jedem der beiden Punkte β, γ die Hälfte des Gewichtes, das bei δ ist, weil die beiden Linien $\beta\delta$ und $\delta\gamma$ einander gleich sind. Das Gewicht bei δ war aber das Doppelte des Gewichtes bei α; folglich sind die Lasten bei den Punkten α, β, γ einander gleich, und daher tragen die Stützen gleiche Gewichte.

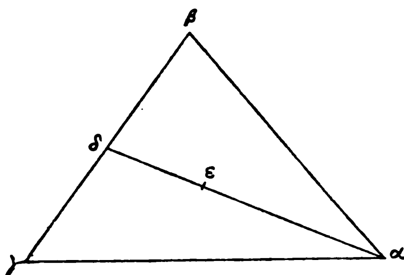


Fig. 44.

39 Sei weiter das Dreieck $\alpha\beta\gamma$ gleichmäſsig schwer und dick, auf Stützen von gleicher Lage, und sei im Punkte ε irgend ein Gewicht aufgelegt oder aufgehängt, und zwar möge der Punkt ε eine ganz beliebige Lage haben, so wollen wir finden, wieviel von dem Gewichte ε eine jede der Stützen trägt. Ziehen wir $\alpha\varepsilon$ und verlängern es nach δ, teilen das Gewicht in ε so, daſs, wenn das Dreieck auf der Linie $\alpha\beta$ im Gleichgewicht liegt, sich die Last bei δ zur Last bei α verhält, wie die Linie $\alpha\varepsilon$ zur Linie $\varepsilon\delta$. Teilen wir ferner das Gewicht bei δ so, daſs $\beta\gamma$, wenn es aufgehängt wird, sich in Gleichgewichtslage befindet, so verhält sich das Gewicht von γ zum Gewichte von β wie die Linie $\beta\delta$ zur Linie $\gamma\delta$. Das Gewicht bei δ ist bestimmt; folglich sind die beiden Gewichte γ, β bestimmt. Das Gewicht bei α ist aber gleichfalls bestimmt; folglich sind die Gewichte, die auf den Stützen ruhen, bestimmt.

40 Wenn ein Dreieck $\alpha\beta\gamma$ gegeben ist und an den Punkten α, β, γ bekannte Gewichte hängen, so wollen wir im Innern

خطّ زح على علامة ط فصلا يكون* طح عند زط(1 كثقل ز الذى هو ثقل مثلّث ابد عند ثقل ح الذى هو ثقل مثلّث بدج تكون علامة ط التى(2 يتعادل عليها الثقلان مركز ذلك المربّع(3 ⊙

[٣٧] نريد ان نبين ذلك فى مخمّس(4 ابجده فلنصل به ونخرج مركز ثقل مثلّث ابه وليقع على علامة ز وليكن مركز ثقل مربّع بجده على علامة ح ولنصل علامتى زح ونقسم خطّ زح بقسمين يكون قسم حط عند طز كثقل مثلّث ابه عند ثقل مربّع بجده فتكون علامة ط مركز ثقل شكل ابجده وكذلك ينبغى ان نتوهّم فى كلّ شكل كثير الاضلاع ⊙

[٣٨] نريد ان نبيّن اذا كان مثلّث ابج متساوى(5 الثخن والثقل وكانت قوائم تحت علامات ابج متساوية الوضع كيف نستخرج كميّة الثقل الذى تحتمل كلّ واحدة منها من مثلث ابج فنفصل(6 خطّ بج بنصفين* على علامة د(7 ونصل علامتى اد ونقسم خطّ اد بقسمين على علامة ه قسمة يكون قسم اه ضعف هد فتكون علامة ه مركز جميع ثقل المثلث فينبغى ان نقسمه على القوائم

---

1) Codd. زط عند طح   2) Codd. الذى   3) KL الموضع   4) B add. فليكن مخمّس   5) L add. فى   6) LK نفصل   7) B om.

ganze Gewicht des Dreiecks $\alpha\beta\delta$ im Punkte ζ und ebenso das Gewicht des Dreiecks $\beta\gamma\delta$ im Punkte η denken. So ist also die Linie $\zeta\eta$ eine Wage, an deren Enden sich diese beiden Gröſsen befinden. Wenn wir nun die Linie $\zeta\eta$ im Punkte ϑ so teilen, daſs sich $\vartheta\eta$ zu $\zeta\vartheta$ verhält, wie die Last ζ, d. i. das Gewicht des Dreiecks $\alpha\beta\delta$, zur Last η, d. i. dem Gewichte des Dreiecks $\beta\delta\gamma$, so ist der Punkt ϑ, in welchem sich die beiden Lasten das Gleichgewicht halten, der Schwerpunkt dieses Vierecks.

37 Wir wollen dasselbe für das Fünfeck $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$ beweisen. Ziehen wir $\beta\varepsilon$ und bestimmen den Schwerpunkt des Dreiecks $\alpha\beta\varepsilon$; er falle in den Punkt ζ; der Schwerpunkt des Vierecks $\beta\gamma\delta\varepsilon$ sei im Punkte η. Verbinden wir die beiden Punkte ζ und η, und teilen die Linie $\zeta\eta$ so in zwei Teile, daſs sich $\eta\vartheta$ zu $\vartheta\zeta$ verhält wie das Gewicht des Dreiecks $\alpha\beta\varepsilon$ zum Gewicht des Vierecks $\beta\gamma\delta\varepsilon$, so ist der Punkt ϑ der Schwerpunkt der Figur $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$. Auf dieselbe Weise müssen wir es uns bei allen Vielecken vorstellen.

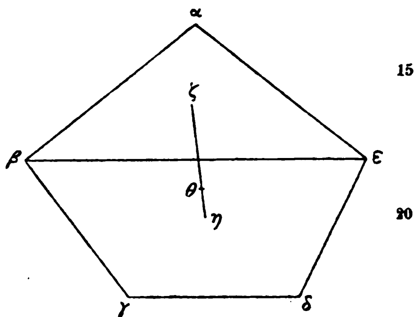


Fig. 43.

38 Wenn $\alpha\beta\gamma$ ein gleichmäſsig dickes und schweres Dreieck ist, und sich unter den Punkten $\alpha\beta\gamma$ Stützen in gleicher Lage befinden, so wollen wir zeigen, wie man den Betrag des Gewichtes findet, den jede derselben von dem Dreieck $\alpha\beta\gamma$ trägt. Halbieren wir $\beta\gamma$ im Punkte δ und verbinden wir die beiden Punkte α und δ, teilen die Linie $\alpha\delta$ im Punkte ε so, daſs der Teil $\alpha\varepsilon$ das Doppelte von $\varepsilon\delta$ ist, so ist der Punkt ε der Punkt des ganzen Gewichtes des Dreiecks. Nun müssen wir es auf die Stützen verteilen. Wenn wir uns aber die Linie $\alpha\delta$ in Gleichgewichtslage

فان علامة تقاطعهما المشتركة لهما[1] هى مركز ذلك الثقل وهى علامة ز وقد ينبغى ان نتوهم علامة ز فى وسط ثخن مثلث ابج فيظهر لنا انّا اذا وصلنا علامتى اد وقسمنا خطّ اد على علامة ز بقسمين يكون احدهما الذى هو از ضعف زد فان علامة ز تكون مركز الثقل لانا ان وصلنا علامتى ده يكون خطّ اب موازيا لخطّ ده لانّ خطّى اج بج قد قسما على علامتى د ه فاذًا خطّ اج عند جه مثل اب عند هد وخطّ اج ضعف خطّ جه فاذا خطّ اب ضعف هد وخطّ اب عند هد كخطّ از عند دز فاذًا خطّ از ضعف زد من اجل ان شكلى ابز و دزه متساويى[2] الزوايا ⊙

[٣٦] نريد ان نستخرج ذلك ايضا فى المربّع فليكن المربّع المعلوم مربّع ابجد ولنصل بد ونفصله بنصفين[3] على علامة ه ولنصل خطّى[4] اه هج ونقسمهما على علامتى ز ح قسمة يكون از ضعف زه و حج ضعف حه فيكون مركز مثلّث[5] ابد على علامة ز ومركز مثلّث بدج على علامة ح فليس نجد اختلافا فى توهّمنا انّ ثقل مثلّث ابد كلّه عند علامة ز وايضا ثقل مثلّث بجد عند علامة ح فقد صار خطّ زح ميزانا فى طرفيه هذان العظمان فان فصلنا

1) LK انما 2) Codd. متساوية 3) K بقسمين 4) Codd. علامتى 5) KL ثقل

keiner Seite. Da nun das Dreieck, auf jede von den beiden Linien $\alpha\delta$ und $\beta\varepsilon$ gelegt, sich in seinen Teilen im Gleichgewicht befindet, und sich nach keiner Seite neigt, so ist der gemeinsame Schnittpunkt der Mittelpunkt dieses Gewichtes, nämlich der Punkt ζ. Den Punkt ζ müssen wir uns aber in der Mitte der Dicke des Dreiecks $\alpha\beta\gamma$ denken. Nun ergiebt sich uns, wenn wir die beiden Punkte α, δ verbinden, und die Linie $\alpha\delta$ im Punkte ζ so in zwei Teile teilen, dafs der eine, nämlich $\alpha\zeta$, das Doppelte von $\delta\zeta$ ist, dafs der Punkt ζ der Schwerpunkt ist; denn wenn wir die beiden Punkte δ, ε verbinden, so ist die Linie $\alpha\beta$ der Linie $\delta\varepsilon$ parallel, da die beiden Linien $\alpha\gamma$ und $\beta\gamma$ in den Punkten δ und ε halbiert wurden. Dann verhält sich $\alpha\gamma$ zu $\gamma\varepsilon$ wie $\alpha\beta$ zu $\varepsilon\delta$; $\alpha\gamma$ ist aber das Doppelte von $\gamma\varepsilon$; folglich ist $\alpha\beta$ das Doppelte von $\varepsilon\delta$. Ferner verhält sich $\alpha\beta$ zu $\varepsilon\delta$ wie $\alpha\zeta$ zu $\delta\zeta$, folglich ist $\alpha\zeta$ das Doppelte von $\zeta\delta$; weil die beiden Figuren $\alpha\beta\zeta$ und $\delta\zeta\varepsilon$ in ihren Winkeln einander gleich sind.

36 Wir wollen dasselbe für das Viereck finden. Es sei also das gegebene Viereck $\alpha\beta\gamma\delta$. Ziehen wir $\beta\delta$ und halbieren es im Punkte ε, verbinden je die beiden Punkte α, ε und ε, γ und teilen die Verbindungslinien in den Punkten ζ, η, sodafs $\alpha\zeta$ das Doppelte von $\zeta\varepsilon$, und $\gamma\eta$ das Doppelte von $\eta\varepsilon$ ist, so liegt der Schwerpunkt des Dreiecks $\alpha\beta\delta$ in ζ, und der Schwerpunkt des Dreiecks $\beta\delta\gamma$ im Punkte η, und wir finden keinen Unterschied, wenn wir uns das

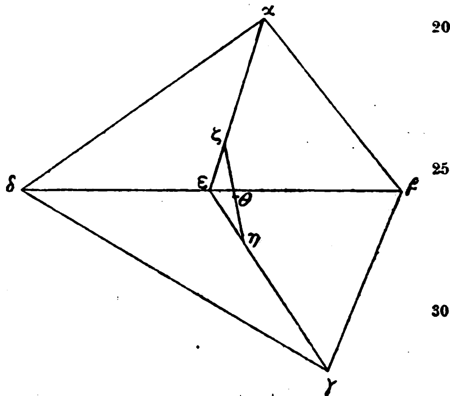


Fig. 42.

يز لماذا صارت الرطوبات وهى فى طبائعها ثقيلة تتحرّك سريعا بسهولة فانّا قد نرى الرجل الواحد يحرك الف قسط من ماء فى مرة واحدة لأنّ الماء متّصل واجزاؤه سريعة التفرّق فانّه ليس كمثل الحجارة والخشب مكتنزًا تصعب تجزئته لكنّه سهل التفريق ولذلك صار ليس له ثبات فى نفسه بل هو سيّال الى اسفل فيعرض من ذلك انّا نحرّك منه الجزء اليسير فتميل* سائر اجزائه[1] الى ذلك الموضع الذى انتقل منه جزؤه اليسير ⊙

[٣٥] وقد يجب ان نبيّن ايضا اشياء نحتاج اليها فى الجذب والكبس ليست كالتى[2] ذكرنا فى المقالة التى قبل هذه ولكن اشياء أخر اشدّ احكاما من تلك قد اوضحها ارشميدس وغيره واوّل ذلك نخبّركيف نستخرج مركز ثقل مثلّث متساوى الثخن والثقل فليكن المثلّث المعلوم مثلّث ابج ونقسم خطّ بج بنصفين على علامة د ولنصل علامتى اد فان اقمنا المثلّث على خط اد لم يمل الى جهة من الجهات لان مثلثى ابد ادج متساويان وايضا إن[3] قسمنا خطّ اج على علامة ه ووصلنا علامتى به فان اقمنا المثلّث ايضا على خطّ به لم يمل الى جهة من الجهات فاذ كان المثلّث اذا اقيم على كل واحد من خطّى اد به يعتدل اجزاؤه ولا يميل الى جهة من الجهات

1) B om. 2) BCL ليس كالذى 3) BCL om.

r. Warum bewegen sich Flüſsigkeiten, die doch ihrer Natur nach schwer sind, mit Leichtigkeit schnell? Wir sehen nämlich, daſs ein einzelner Mann tausend Ḳisṭ Wasser auf einmal bewegt.

Weil das Wasser ein zusammenhängender Gegenstand ist, dessen Teile sich aber schnell trennen lassen. Deshalb hat es auch keine Festigkeit in sich selbst, sondern es flieſst nach unten. Daher kommt es, daſs wir nur einen kleinen Teil desselben bewegen, und die übrigen Teile sich nach dem Orte neigen, nach welchem der geringe Teil desselben gebracht wurde.

35 Nun haben wir noch einige Dinge auseinanderzusetzen, deren wir bei Zug und Druck bedürfen, aber nicht von der Art der im vorigen Buche erwähnten, sondern von gröſserer Wichtigkeit als jene, Dinge, die schon Archimedes und Andre erläutert haben.

Zuerst nun wollen wir zeigen, wie man den Schwerpunkt eines gleichmäſsig dicken und schweren Dreiecks findet. Sei das bekannte Dreieck das Dreieck $\alpha\beta\gamma$, und

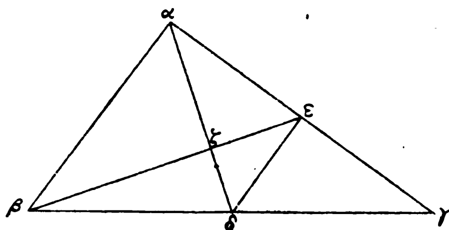


Fig. 41.

teilen wir die Linie $\beta\gamma$ im Punkte δ in zwei Hälften und verbinden die beiden Punkte α, δ. Wenn wir nun das Dreieck auf die Linie $\alpha\delta$ legen, so neigt es sich nach keiner Seite, weil die beiden Dreiecke $\alpha\beta\delta$ und $\alpha\delta\gamma$ gleich sind. Wenn wir ferner die Linie $\alpha\gamma$ im Punkte ε teilen, und die beiden Punkte β, ε verbinden, dann das Dreieck auf die Linie $\beta\varepsilon$ legen, so neigt es sich nach

فيكون الثقل يرتفع من علامة د اكثر من ارتفاعه من علامة ه والثقل الذى يرتفع الى مكان اكثر ارتفاعا يتعب القوّة اكثر من الذى يرتفع الى مكان اقلّ ارتفاعا لأنّ الذى يرتفع الى مكان كثير الارتفاع يحتاج الى زمان اطول ⊙

يد لما صارت الاشياء التى تسير فى الماء اذا كانت على حائط واحد تكثر سرعة حركتها لانّ الذى يكون منها على الماء يكون يسيرا جدّا فيكون الذى يدعمه الماء ايضا يسيرا والذى* يناله من الريح يقوى على ذلك الماء الذى[1] يضاده عند حركته ⊙

يه لماذا صار السكّان وهو صغير جدّا يردّ سفنا عظاما لانّه اذا كان انسان يعدو[2] فاجتذبه احد الى اىّ جهة كانت فانّه يميل الى تلك الجهة سريعا والسكان يدعمه الماء فيقوى على السفينة ⊙

يو لماذا صارت الاسهم تتغرّس فى الدروع والجواشن ولا تتغرس فى الشراعات المنشورة لان الحمية اذا صارت الى الشى الذى يجيبها ولا يمانعها لم يفعل فعلا شديدا لأن سرعة الحركة وعظم القوّة تتفرّق عند ملاقاة الشىء المجيب غير المانع[3] فامّا الشىء الصلب اذا لاقى الصلب مثله فضربه لم يجبه الشىء الصلب وقاومه فلم يتفرّق من قوّته شىء فتكون ضربته عليه جدّا ولهذه العلّة صار الذين يلقون انفسهم من بعد طويل فى[4] الماء لا ينالهم ضرر ⊙

vom Punkte δ aus, so gelangt sie nach η, so daſs die Last vom Punkte δ aus höher gehoben wird als vom Punkte ε aus. Die Last aber, die nach einem höher gelegenen Punkte gehoben wird, strengt die Kraft mehr an, als die nach einem tiefer gelegenen Punkte gehobene, weil die zum hochgelegenen Punkt gehobene längere Zeit beansprucht.

o. Warum haben Gegenstände, die im Wasser treiben, eine gröſsere Geschwindigkeit, wenn sie nur auf einer Seite liegen?

Weil der Teil über Wasser sehr leicht ist, so daſs das ihn stützende Wasser auch nur wenig ist und der Wind, der ihn trifft, über das Wasser, das ihm bei seiner Bewegung Widerstand leistet, die Übermacht hat.

p. Warum lenkt das Steuerruder, trotzdem es sehr klein ist, groſse Schiffe ab?

Weil ein Mann, der läuft und den jemand nach irgend einer Seite zieht, sich schnell nach jener Seite wendet. Das Steuerruder aber stützt sich auf das Wasser, so daſs es die Übermacht über das Schiff hat.

q. Warum dringen Pfeile in Panzer und Harnische ein, aber nicht in ausgebreitete Leinwand?

Weil die Waffe, wenn sie einen Gegenstand trifft, der ihr nachgiebt und ihr keinen Widerstand entgegensetzt, keine groſse Wirkung ausübt, da die Schnelligkeit und die Gröſse der Kraft sich bei dem Auftreffen auf den nachgiebigen und nicht widerstandsfähigen Gegenstand zerteilen. Wenn aber etwas Hartes auf etwas gleich Hartes trifft und ihm einen Schlag versetzt, so giebt der harte Gegenstand nicht nach und leistet Widerstand, so daſs von der Kraft nichts zersplittert, sondern der Anprall darauf ein starker ist. Aus demselben Grunde trifft auch diejenigen, die sich aus groſser Entfernung ins Wasser stürzen, kein Schade.

1) B om. 2) BCL هدوءا 3) Codd. الغير مانع
4) LK الى

معلّقة عليه صعب ذلك وكان غير ممكن بتّة فاذا تباعدت اليد عن الركن الثابت حرّكت الثقل لكن بصعوبة وذلك للقرب من بطلان الحركة بتّة وكلّما تباعد المحرّك من[1] الركن الثابت كانت الحركة عليه اسهل مثال ذلك ان نفرض الركن الثابت الذى الثقل معلّق عليه على علامة ا وليكن الحبل خطّ اب ولنخرج خطّ اج قائما على خطّ اب ولنعلّم على خطّ اب علامتين كيف ما وقعتا وهما علامتا د ه ولنجذب الحبل من علامة د فنكسره حتى يكون كهيئة ازح فيكون الثقل عند ح فاقول إنّ ح اكثر ارتفاعا من ب برهان ذلك أنّا نخرج خطّ حز الى ج ومن اجل أنّ ازح اعظم من جزح فإنّ[2] علامة ح اعلى من علامة ب وايضا فليكن الحبل الممتد من علامة ه له وضع قائم على جح فيكون الثقل فى موضع واحد اعنى يكون مثل اب ولكن من اجل ان اه اعظم من از يكون ه اكثر انحطاطا من ز كعلامة ط ونصل اط فيكون اط قد كسر كسرة اطح فاقول إنّ الثقل المعلق هو اكثر انحطاطا من ح بيان ذلك من اجل ان از زط اعظم من اط وخطّ حط مشترك فانّ از زح* اعنى اب[3] اعظم من اط طح فليكن جميع اط طك مساويا لخطّ اب فيكون الثقل عند ك و ك اكثر انحطاطا من ح فيكون اذا جذبنا الثقل من عند علامة ه[4] عند ك واذا جذبناه من علامة د يكون عند ح .

von der festen Stütze entfernt, so bewegt sich das Gewicht, aber mit Schwierigkeit, nämlich weil sie noch zu nahe dem Punkte ist, wo die Bewegung ganz aufhört. Je weiter sich aber der Bewegende von der festen Stütze entfernt, desto leichter fällt ihm das Bewegen. Denken wir uns z. B. die feste Stütze, an welcher die Last hängt, bei dem Punkte α, und sei das Seil die Linie $\alpha\beta$. Ziehen wir nun die Linie $\alpha\gamma$ senkrecht zu $\alpha\beta$ und nehmen auf der Linie $\alpha\beta$ zwei beliebig fallende Punkte, δ und ε, an und ziehen das Seil im Punkte δ, so brechen wir es, bis es die Gestalt von $\alpha\zeta\eta$ annimmt. Dann ist die Last bei η. Nun behaupte ich, dafs η höher liegt als β. Beweis. Verlängern wir die Linie $\eta\zeta$ nach γ, so ist, da $\alpha\zeta\eta$ gröfser ist als $\gamma\zeta\eta$, der Punkt η höher als der Punkt β.

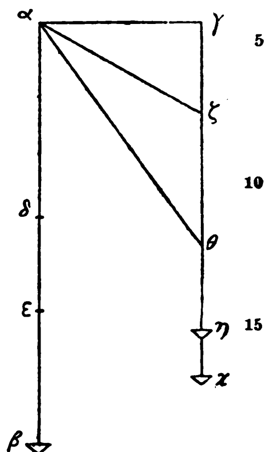


Fig. 40.

Habe ferner das im Punkt ε anzuziehende Seil wieder eine zu $\alpha\gamma$ senkrechte Lage, so dafs sich die Last wieder an derselben Stelle befindet, nämlich wie $\alpha\beta$. Weil nun $\alpha\varepsilon$ gröfser als $\alpha\zeta$ ist, so wird ε tiefer zu liegen kommen als ζ, etwa bei ϑ. Ziehen wir nun $\alpha\vartheta$, so wird $\alpha\beta$ nach $\alpha\vartheta\eta$ gebrochen. Ich behaupte nun, dafs das aufgehängte Gewicht tiefer kommt als η. Beweis. Weil $\alpha\zeta$ plus $\zeta\vartheta$ gröfser ist als $\alpha\vartheta$, so ist, wenn $\eta\vartheta$ beiderseits addiert wird, $\alpha\zeta$ plus $\zeta\eta$ d. i. $\alpha\beta$ gröfser als $(\alpha\vartheta + \vartheta\eta)$. Sei nun $(\alpha\vartheta + \vartheta\varkappa)$ gleich $\alpha\beta$, so kommt die Last nach $\varkappa$ und $\varkappa$ liegt tiefer als η. Wenn wir also die Last vom Punkte ε aus ziehen, so kommt sie nach $\varkappa$; ziehen wir sie aber

1) KL om. 2) L بان BC فلان 3) B om. 4) Codd. add. يكون

متشابها[1] متساويا[2] من الجهات كلّها فيكون لذلك متحرّكا على مركز ومركوه علاقته فامّا اذا جذبنا الميزان الى احدى الجهتين فانّا نرفع ثقلا ما لان ميل الكفّة الى اسفل يقلّ الاخرى فتكون حركة* غير طبيعيّة اعنى حركة ثقل الى ما يلى العلو فامّا الحركة الطبيعيّة[3] فانها سهلة وهى جذب[4] الثقل الى اسفل فلذلك صار جذب الاثقال الى اسفل اسهل من شيلها الى فوق ⊙

يا لماذا صارت حركة الاثقال المتعلّقة سهلة لان جميع قوّة الاثقال[5] قد قويت عليها القوّة التى هى متعلّقة بها فلانّه لم يبق لها كثير قوّة صار دفعها سهلا وكذلك ايضا يعرض فى الميزان اذا كان متعلّقا وجذ بناه تحرّك اسهل ⊙

يب لماذا صارت الحجارة المتقدّرة العظم التى على شطّ البحر تكون اكثر ذلك مستديرة لانها تكون اوّلا ذات زوايا حادّة فبحركة البحر يضرب بعضها بعضا فتتكسّر زواياها لضعفها ⊙

يج لماذا صارت الاثقال المتعلقة التى نريد ان نحرّكها كلما بعدت اليد عنها حتى تصير الى الركن الثابت الذى هى معلّقة عليه او قربت منه صعبت حركتها لانّا ان التمسنا ان نحركها من الموضع الثابت الذى[6] هى

1) L منساويا 2) LK متساوى 3) B om. 4) BC تجذب
5) Codd. الثقل 6) KL التى

k. Warum lassen sich Wagen, mögen sie belastet sein oder nicht, schneller bewegen, wenn man sie (horizontal) dreht, als sie sich nach einer Seite bewegen, nach der man sie neigt?

Weil, wenn man sie dreht, ihr Gewicht nach allen Richtungen hin ähnlich und gleichmäſsig gelegen bleibt, so daſs es sich deshalb um einen Mittelpunkt, nämlich seinen Aufhängepunkt dreht. Wenn wir aber die Wage nach einer von beiden Seiten ziehen, so heben wir eine Last, weil das Senken der einen Wagschale die andre in die Höhe treibt, so daſs ihre Bewegung nicht natürlich ist, ich meine die Bewegung einer Last nach oben; denn die natürliche Bewegung ist leicht, nämlich die Anziehung eines Gewichtes nach unten. Deshalb ist es leichter Gewichte nach unten zu ziehen als nach oben zu heben.

l. Warum ist es leicht, aufgehängte Gewichte zu bewegen?

Weil die ganze Kraft der Gewichte von der Kraft, durch die sie aufgehängt wurden, überwogen wird. Weil ihnen also keine groſse Kraft geblieben ist, ist es leicht sie zu stoſsen. Dasselbe zeigt sich auch bei der Wage; wenn sie aufgehängt ist und wir ziehen sie an, so bewegt sie sich sehr leicht.

m. Warum sind die Steine von beträchtlicher Gröſse, die sich an dem Ufer des Meeres finden, meistens rund?

Weil sie zuerst scharfkantig waren, durch die Bewegung des Meeres aber einer den andern anstöſst, so daſs sich die Kanten wegen ihrer Schwäche aneinander brechen.

n. Warum ist es desto schwerer, aufgehängte Lasten, die man bewegen will, zu bewegen, je weiter man die Hand von ihnen entfernt, bis sie zu der festen Stütze gelangt, an welcher sie aufgehängt sind, oder derselben nahe kommt?

Weil, wenn wir sie an dem festen Ort, an dem sie aufgehängt sind, bewegen wollen, dies uns sehr schwer fällt, und ganz unmöglich ist. Wenn sich aber die Hand

الذى يجتذب الخشبة القصيرة فينال الخشبة الطويلة بذاتها من طولها مثل الذى ينال القصيرة اذا شدّ فى طرفها شىء ثقيل ⊙

ط لماذا صار قلع الاضراس يستعمل بالكلبتين دون اليد لانّه لا يمكنّا ان نضبط الضرس باليد كلّها لكن بجزء منها وكما انّه قد يصعب علينا ان نشيل ثقلا ما باصبعين فقط اكثر من صعوبته باليد كلّها كذلك ايضا يصعب علينا ضبط الضرس[1] وكبسه باصبعين اكثر منه باليد كلّها لان فى جميع المعنيين[2] القوة واحدة وقسمة الكلبتين على مسمارها هى[3] ايضا تصيّر اليد تقوى على الضرس لانّها[4] *مخل تكون[5] اليد منه على الجزء الاعظم وبعد الكلبتين هو يعين على حركة الضرس وذلك ان اصل الضرس هو الشىء الذى يتحرّك عليه المخل فلان بعد الكلبتين يكون اكثر من اصل الضرس الذى يتحرك عليه شىء كبير تقوى اليد[6] على القوّة التى فى اصل الضرس لانّه لا يكون فصل بين حركة ثقل وبين حركة قوّة تعادل ذلك الثقل فان رددنا[7] اليد اذا كانت ممدودة[8] يكون صعب ليس لثقل اليد لكن لقوّة[9] ارتباط العصب بعضها[10] ببعض ⊙

ى لماذا صارت الموازين اذا دوّرت تدويرا كانت مثقلة او خفيفة تحرّكت اسرع من حركتها الى احدى الجهات التى تميلها لانّه اذا دوّرت كلّها[11] كان ثقلها

festen Teil desselben, auf welchem es sich erhebt. Daher tritt hierbei dieselbe Erscheinung ein wie bei kurzem Holz, wenn an dessen Enden etwas hängt, das es niederdrückt. Der Zuwachs an Länge des Holzes entspricht also dem Gewichte, welches das kürzere Holz herabzieht. Deshalb begegnet dem langen Holze durch sich selbst wegen seiner Länge dasselbe, wie dem kurzen Holz, wenn an seinem Ende etwas Schweres angebunden wird.

i. Warum benutzt man beim Zahnausziehen Zangen und nicht die Hand?

Weil wir den Zahn mit der ganzen Hand nicht packen können, sondern nur mit einem Teil derselben; und wie es uns schwerer fällt, ein Gewicht mit nur zwei Fingern zu heben, als mit der ganzen Hand, so ist es auch schwerer für uns, den Zahn mit zwei Fingern zu packen und zu drücken, als mit der ganzen Hand. In beiden Fällen ist die Kraft dieselbe, aber die Teilung der Zange bei ihrem Nagel bewirkt dazu, dafs die Hand die Übermacht über den Zahn hat; denn es ist ein Hebel, an dessen gröfserem Teil die Hand ist, und der Abstand der Zange erleichtert das Bewegen des Zahnes. Denn die Zahnwurzel ist das, um was sich der Hebel bewegt. Weil aber der Abstand der Zange gröfser ist als die Zahnwurzel, um die sich etwas Grofses bewegt, so überwiegt die Hand über die in der Zahnwurzel liegende Kraft. Es ist nämlich kein Unterschied zwischen dem Bewegen eines Gewichtes und dem Bewegen einer Kraft, die jenem Gewichte gleichkommt. Denn wenn wir die Hand schliefsen, nachdem sie ausgebreitet war, so entsteht ein Widerstand, nicht wegen des Gewichtes der Hand, sondern wegen der Kraft mit der die Muskeln an einander haften.

---

1) LK الشى 2) BCL المعينبين 3) Codd. هو 4) Codd. لانه 5) Codd. يكون منخل 6) KLC om. 7) Codd. زدنا 8) Codd. add. قد 9) Codd. القوة 10) Codd بعضه 11) K om. BC كلّما

له اجزاء كثيرة ولكلّ واحد منها من القوّة على قدر عرضه ففى حركة هذا الثقل يأخذ كلّ واحد من اجزائه من القوة التى تحركه على قدر ثقله ولا يناله كلّه قوّة واحدة ⊙

و لماذا صار الرمى من وسط الوتر ينفذ السهم بعدا كثيرا لان التوتّر يكون فيه اكثر وتكون القوّة الباعثة اعظم ولذلك صيّروا القسى من قرون ليمكن فيها الثنى[1] فاذا ثنيت[2] كثيرا توتّر الوتر بالسهم اكثر وصارت فيه قوّة اعظم فنفذ بعدا اطول ولذلك صارت القسى الصلبة التى لا تجيب اطرافها الى الثنى تنفذ السهم بعدا اقلّ ⊙

ز لماذا صار الخشب يندقّ اسرع اذا صيّرت الركبة منه على* النصف لانّه اذا صيّرت الركبة منه على[3] اقلّ من النصف فكان احد جزئيه اطول من الآخر[4] يكون ميزانا منقسما بقسمين مختلفين فتقوى اليد[5] البعيدة من الركبة على اليد القريبة منها وليس ينال إحداهما قوّة[6] الاخرى الّا ان يكون جميعهما فى طرف العود ⊙

ح لماذا صارت الخشبة كلّما زادت[7] فى طولها أكثر ضعفا[8] وكثر انثناؤها اذا اقلّت فى احد طرفيها لان الخشب الطويلة[9] فيها[10] قوّة كبيرة متفرّقة فى اجزائها[11] فتكون كلّها تقوى على الثابت منها الذى به تقلّ فيعرض لها ما يعرض فى الخشب القصار اذا علّق فى اطرافها شىء يكبّسها فتكون الزيادة فى طول الخشبة بقدر ذلك الثقل

hat, deren jedem gemäſs seiner Breite ein Teil der Kraft zukommt, so daſs bei der Bewegung dieser Last jeder von ihren Teilen von der sie bewegenden Kraft nach Maſsgabe seines Gewichtes etwas erhält, aber nicht eine Kraft dieselbe als Ganzes trifft.

f. Warum treibt ein Schuſs von der Mitte der Sehne den Pfeil auf eine groſse Entfernung hinaus?

Weil die Spannung daselbst am stärksten und die treibende Kraft am gröſsten ist. Deshalb macht man auch die Bogen aus Hörnern, weil hierbei das Biegen möglich ist. Wenn sie stark gebogen sind, ist auch die Sehne mit dem Pfeil stärker gespannt, so daſs eine gröſsere Kraft in ihn kommt und er deshalb eine weitere Strecke durchdringt. Deshalb treiben harte Bogen, deren Enden sich nicht biegen lassen, den Pfeil nur auf kurze Strecken.

g. Warum läſst sich Holz schneller brechen, wenn man das Knie bei demselben in die Mitte bringt?

Weil, wenn man das Knie dabei in geringere Entfernung (vom einen Ende) als die Mitte bringt, so daſs der eine der beiden Teile kürzer ist als der andre, es eine in zwei ungleiche Teile geteilte Wage ist, weshalb die von dem Knie entferntere Hand das Übergewicht über die ihm nähere hat. Die eine erreicht aber die Kraft der anderen nur, wenn beide an dem Ende des Holzes (gleichweit von der Mitte) sind.

h. Warum ist ein Stück Holz, je länger es ist, desto schwächer und warum nimmt seine Biegung zu, wenn es in einem seiner beiden Enden aufgerichtet wird?

Weil im langen Holze groſse Kraft auf seine Teile verteilt ist, so daſs das Ganze das Übergewicht hat über den

---

1) K التثنى 2) K اثنب 3) B om. 4) Codd. add. لانه 5) LCK om. 6) Codd. add. على 7) Codd. زاد 8) BC ضعف KL ضعفت 9) Codd. الطويل 10) Codd. فيه 11) Codd. اجزائه

يفعل ميلا مختلفا فيكون فعله الميل الاكثر فى الثقل الاصغر فانّه اذا كانت([1] كفتان فى كلّ واحدة منهما ثلاثة امناء وصيّرنا فى احدى الكفّتين نصف منّا مالت تلك الكفّة ميلا كثيرا فإن كان فى كل كفّة عشرة امناء وزدنا فى احدى([2] الكفّتين نصف منّا كان ميل العمود فى ذلك يسيرا جدّا لانّه يعرض فى ذلك ان يتحرّك الثقل بقوّة كبيرة فانّ الثلاثة الامناء يحرّكها مثل وسدس مثل فامّا العشرة امناء فانّه يحرّكها مثل ونصف عشر مثل لان* نصف المنّ([3] هو نصف عشر العشرة امناء وهو سدس الثلاثة الامناء والثقل الذى تحرّكه القوّة العظمى تكون حركته اسهل ☉

دَ لماذا صارت الاثقال العظام يهبط الى الارض فى زمان اقلّ من زمان التى هى اخفّ لانّه كما يعرض فيها اذا كانت القوّة المحركة لها من خارج أكبر فانّها تتحرّك اسهل كذلك اذا كانت قوّتها فى انفسها([4] اكبر تحرّكت أسهل والقوة والجذب فى الثقل الاعظم فى الحركات الطبيعية اكبر منه فى الثقل الاصغر ☉

ه لماذا صار الثقل الواحد اذا كان له عرض يكون هبوطه الى الارض أبطأ منه اذا كان مستديرا([5] لانه ليس كما ظنّ قوم أنّه ينال المعترض بعرضه هواء كثيرا وامّا المستدير فلان اجزاءه بعضها مداخل فى بعض لا ينال من لهواء إلّا يسيرا لكن الثقل الذى ينحطّ معترضا تكون

c. Warum bewirkt dasselbe Gewicht bei im Gleichgewicht befindlichen Wagen eine verschiedene Neigung, so zwar, daſs es bei der geringeren Last eine gröſsere Neigung hervorruft?

Wenn man z. B. zwei Wagschalen hat, in deren jeder drei Minen liegen, und wir legen in eine der beiden Schalen noch eine halbe Mine, so neigt sich diese Schale sehr stark. Wenn aber in jeder Schale zehn Minen liegen, und wir legen in der einen Schale eine halbe Mine hinzu, so ist die Neigung des Balkens nur sehr gering.

Weil es sich im ersten Falle zeigt, daſs die Last durch eine groſse Kraft bewegt wird, indem die drei Minen das Gleiche *plus* dem Sechstel davon bewegt; die zehn Minen aber bewegt das Gleiche *plus* dem Zwanzigstel davon. Denn eine halbe Mine ist das Zwanzigstel von zehn, aber das Sechstel von drei Minen, und die Last, welche durch die gröſsere Kraft bewegt wird, ist leichter beweglich.

d. Warum fallen groſse Lasten in kürzerer Zeit zu Boden als leichtere?

Weil sie, wie es sich bei ihnen zeigt, daſs sie sich leichter bewegen lassen, wenn die sie von auſserhalb bewegende Kraft gröſser ist, sich ebenso schneller bewegen, wenn ihre in ihnen selbst liegende Kraft gröſser ist. Die Kraft und die Anziehung sind aber bei der gröſseren Last in natürlichen Bewegungen gröſser als bei der kleineren Last.

e. Warum fällt dasselbe Gewicht, wenn es breit ist, langsamer zu Boden, als wenn es rund ist?

Nicht weil, wie manche glauben, das breite in seiner Breite auf viel Luft stöſst, das runde aber, weil seine Teile sich ineinander einlassen, nur auf wenig Luft stöſst, sondern weil die Last, die sich breit herabsenkt, viele Teile

1) BCL كانت 2) B om. 3) LCK النصف منا
4) BCL نفسها 5) K متداركا

بين حركة الواحد وبين حركة الجماعة* ولكنّه قد نرى الحركة على الجماعة(1 اسهل ومن اجل أنّ الجماعة قد ينال كلّ واحد منهم شيء ما من الحمل وقد يسهل عليهم حركته فظاهر لنا أنّ الحمل ينقسم على الذين يحرّكونه ⊙

[٣٤] المسائل(2 آ لماذا صارت العجل التى هى ذات فلكتين تحمل الاثقال اسهل من العجل اذا كانت ذات اربع فلك لان الثقل فى العجل التى هى ذات فلكتين ثقله ينقسم بقسمين متساويين عن(3 جنبى المحور فأمّا فى العجل التى هى ذات اربع فلك فانّ ذلك لا يتهيّأ ولا ينقسم الثقل فيكون جزءاه اللذان فى الجهتين متساويين لكن يكون الحمل كلّه أمام الفلكتين* المؤخرتين وخلف الفلكتين(4 المقدمتين فيذهب بسرعة حركة الفلك اختلاف وضع الثقل فانّ الفلكة انّما صارت سريعة الحركة لأنّ ثقلها فى اجزائها كلّها متساو ⊙

بَ لماذا صار جرّ العجل يصعب على الدوابّ فى الرمل لأنّ بعض تقويس الفلك تكون فى قعر الرمل فاذا جرّت العجلة(5 تدعم الفلكة الرمل الذى هو أمامها وايضا قد يصعب ذلك من اجل أنّ(6 ارجل الدوابّ تنفذ فى الرمل فيكون قلعها صعبا فامّا فى الارض الصلبة فانّ ذلك لا يعرض ⊙

جَ لماذا صار الثقل الواحد فى الموازين المتعادلة

Bewegungen dieser Körper. Denn einen Körper, den ein Mann nicht bewegt, oder der, wenn ihn ein Mann bewegt, diesem zu schwer wird, bewegen eine Anzahl von Männern, und es fällt ihnen leicht ihn zu bewegen.

Wenn es der Fall wäre, dafs die ganze zu bewegende Last auf jedem einzelnen der Bewegenden läge, so wäre kein Unterschied in der Bewegung, zwischen der Bewegung des Einzelnen und der Bewegung der Gesamtheit. Wir sehen aber, dafs die Bewegung der Gesamtheit leichter fällt. Und weil auf jeden einzelnen von der Gesamtheit etwas von der Last entfällt, und ihnen die Bewegung leicht wird, ist es klar, dafs die Last auf diejenigen, die sie tragen, verteilt wird.

34 Fragen. a. Warum tragen Wagen mit zwei Rädern die Lasten leichter als Wagen mit vier Rädern?

Weil die Last auf Wagen mit zwei Rädern sich in zwei gleichen Teilen zu beiden Seiten der Achse verteilt. Bei Wagen mit vier Rädern geht das nicht an; die Last läfst sich nicht so verteilen, dafs die beiden Teile derselben auf beiden Seiten gleich wären, sondern die ganze Last liegt vor den Hinterrädern und hinter den Vorderrädern, und die Verschiedenheit der Lage benimmt die Geschwindigkeit der Bewegung der Räder; denn das Rad hat nur schnelle Bewegung, weil seine Last auf allen seinen Teilen gleichmäfsig ruht.

b. Warum ist den Zugtieren das Ziehen eines Wagens im Sande schwer?

Weil ein Teil der Krümmung der Räder in der Grube des Sandes sich befindet, und, wenn der Wagen angezogen wird, der Sand, der vor dem Rade ist, dieses stützt. Ferner ist es deshalb schwierig, weil die Füfse der Tiere in den Sand eindringen und ihr Herausziehen schwer fällt. Auf hartem Boden aber kommt dies nicht vor.

---

1) B om. 2) LCK om. 3) B على 4) B om. 5) LK الفلكة 6) LK om.

باسبابه الا بعد الاشياء الظاهرة فيكثر تعجّبنا لذلك اذ كنا نرى الاشياء التى نستعمل ضدّ ما اعتدناه وما كان عندنا فظاهر لنا انّه يجب باضطرار لمن اراد الاستقصاء فى وجود العلل ان يستعمل ابتداءات طبيعية إمّا واحدة وإمّا كثيرة فيضيف(1 كل ما يسال عنه اليه ويخرج حلّ(2 كلّ واحدة(3 من المسائل باستقصاء اذا ظهرت علتها(4 وكانت هى الشىء الذى قد عرفناه فليكن لنا موضوعا أن الخفيف سهل الحركة والثقيل عسر الحركة وأن الثقل الواحد حركته بالقوّة* الاكبر اسهل منه بالقوة(5 الاقلّ فانّ هذا قد نراه على هذا وهو بيّن ظاهر لنا وقد يجب ان نعلم أنّ كلّ ما يسأل عنه قد يعرض فيه شىء خفىّ ليس بظاهر لانّه لايكاد يسأل عن شىء العلّة فيه ظاهرة بينة ولكن يجب ان نعلم أن ابتداء كلّ المسائل التى تعرض فى صناعة الحيل وخفيّة العلّة فى ذلك انّه لا يمكنّا ان نرى الاجسام الثقيلة منقسمة على القوى المحرّكة(6 لها وهذه العلّة تكون ظاهرة باشياء كثيرة وبخاصة بحركات هذه الاجسام لأن الجسم الذى لايحرّكه رجل واحد او الذى اذا حرّكه رجل واحد كان ذلك عليه عسرا جدّا فان جماعة من الرجال يحركونه وتكون حركته عليهم سهلة فلو كان يعرض ان يكون على(7 كلّ واحد من المحركين ثقل المحرك كلّه كان لا يوجد اختلاف حركة

schon vorgebracht haben, wegen des Nutzens, den sie in diesem Kapitel haben, und wir werden über Dinge staunen, die, wenn wir sie bewiesen haben, das Gegenteil von dem sind, was vorher in unserer Kenntnis lag. Den Ausgang für die Dinge, nach denen wir forschen, nehmen wir von dem, was uns klar ist. Die Dinge aber, von deren Ursachen wir nur nach den klarsten Sachen reden können, werden unser Erstaunen darüber noch vergröſsern, wenn wir sehen, daſs die Dinge, die wir anwenden, das Gegenteil von dem sind, woran wir uns gewöhnt haben und was bei uns feststand. Es ist nun klar, daſs derjenige, der die Ursachen gründlich auffinden will, notwendigerweise natürliche Prinzipien, entweder eins oder mehrere, anwenden, und alles, wonach er forscht, damit verknüpfen muſs, und daſs die Lösung jeder einzelnen Frage von Grund aus gegeben ist, wenn sich ihre Ursache gefunden hat, und diese etwas ist, was wir bereits erkannt haben.

Es gelte nun für uns als Grundsatz, daſs das Leichte leicht beweglich, das Schwere schwer beweglich ist, und daſs dieselbe Last durch eine gröſsere Kraft sich leichter bewegen läſst, als durch eine kleinere; denn das Eine ergiebt sich aus dem Anderen und ist klar und offenbar für uns.

Wir müssen aber wissen, daſs in jeder Frage etwas Dunkles, nicht Offenbares liegt, weil fast niemals nach etwas gefragt wird, wobei die Ursache klar und deutlich ist. Auſserdem ist zu beachten, daſs alle Fragen, die in der Mechanik auftreten, und wobei eine Dunkelheit in Betreff der Ursache ist, daraus entstehen, daſs wir nicht sehen können, wie die schweren Körper sich auf die sie bewegenden Kräfte verteilen; dieser Grund wird durch viele Umstände offenbar, besonders aber durch die

1) BCL فيصف 2) BCL om. 3) Codd. واحد
4) Codd. علته 5) B om. 6) B om. 7) B om.

[٣٢] ومن اجل انّا قد بيّنّا فى كل واحدة من هذه القوى انّه يمكن بالقوّة المعلومة ان يحرّك الثقل المعلوم ينبغى ان نعلم هذا ايضا انّه لو امكن ان تكون المعمولات كلّها مخروطة بالمبرد([1] متساوية الثقل متشابهة الاجزاء ملسة كان يمكن فى كل واحدة من هذه الآلات ان نستعمل الاعمال التى ذكرنا على تلك النسبة ولكن من اجل انّه لا يمكن الناس يعملون ذلك بالاستقصاء فى الملاسة والاستواء ينبغى ان يزاد فى القوى لما يعرض من خشونة الآلات ونزيد فى ذلك فنعملها([2] اكثر([3] قدرا من النسب التى قدّمنا لئلا يعرض لنا* امتناع فى([4] ذلك ونظرنا الى الاستعمال بالآلات([5] يكذب بما قد صحّ برهانه ⊙

[٣٣] وقد يجب باضطرار للذين يريدون معرفة صناعة الحيل ان يعرفوا العلل التى تعرض فى استعمال كل حركة كما قد بيّنّا فى رفع الاشياء الثقيلة بالبراهين الطبيعية واخبرنا بكلّ ما يعرض لكلّ واحدة من القوى التى ذكرنا لئلا يقع لهم شىء بلا برهان او شىء يشكّون فيه لكن اذا فحصوا فى كل واحد مما يطلبونه يخرج لهم صدق ذلك فى كلّ واحد ممّا ذكرنا فلنذكر اشياء قد ذكرها القدماء لما يصلح فى هذا النوع وقد نتعجّب من هذا ما إذا بيّنّاه كان ضدّ ما تقدّم فى معرفتنا ويكون ابتداء ما نسأل عنه ممّا يظهر لنا وما لا يمكنّا ان نخبر([6]

Umfang gleich der Linie $\beta\gamma$ ist. Konstruieren wir nun aus diesen Linien eine Schraubenwindung von der Höhe $\alpha\gamma$ und höhlen den Schraubengang aus, dessen Abstand gleich der Linie $\alpha\gamma$ ist, so können wir nach diesem Verfahren jenes Holz in die Schraubengrube einfügen.

32 Da wir eben für jede einzelne der Potenzen bewiesen haben, daſs sich durch eine gegebene Kraft eine gegebene Last bewegen läſst, müssen wir noch bemerken, daſs man, wenn alle zu konstruierenden Maschinen mit der Feile gedrechselt, gleichmäſsig an Schwere, Ebenmaſs und Glätte sein könnten, bei jeder einzelnen derselben die erwähnten Verfahren nach jenen Verhältnissen anwenden könnte. Da es aber den Menschen nicht möglich ist, sie in vollkommener Glätte und Gleichmäſsigkeit herzustellen, muſs man die Kräfte verstärken wegen der Reibung der Maschinen, die eintritt, und sie vergröſsern, indem man sie in gröſserem Maſsstabe baut als nach jenen Verhältnissen, die wir erwähnt haben, damit uns nicht ein Hindernis dabei eintritt, während unsere Beobachtung des Gebrauches der Werkzeuge das für falsch erklärt, dessen Beweis eben als richtig befunden wurde.

33 Es ist nun durchaus notwendig für diejenigen, die sich mit der Wissenschaft der Mechanik beschäftigen, die Ursachen zu kennen, die beim Gebrauch jeder Bewegung wirken, wie wir es für das Heben schwerer Gegenstände mit naturgemäſsen Beweisen dargelegt und alles auseinandergesetzt haben, was bei jeder einzelnen von den erwähnten Potenzen eintritt, damit nichts Unbewiesenes für sie vorkomme, noch etwas, worüber sie im Zweifel sind, sondern sich ihnen, wenn sie jede ihrer Aufgaben genau betrachten, die Richtigkeit davon für alles einzelne, was wir erwähnt haben, ergiebt.

Nun wollen wir von Dingen reden, die die Alten

---

1) Codd. بالشهد 2) BCL بعمله 3) BCL كثر
4) Codd. من امتناع 5) Codd. add. ان 6) BC نجبز

على زاوية[1] قائمة وهو خط هج وليعمل اسفين كالمعيّن وهو ابده وليدخل ضلعه الذى هو بد ليكون منه شىء يسير تحت الحمل وليكن راسه اه فيظهر لنا ان اسفين ابج اذا ضرب ينفذ ابده برهان ذلك ان نخرج خطّى اب ده الى ز فتكون زاوية ازه[2] مساوية لزاوية ابج فيكون ازه إسفينا ايضا يمكن ان يحرّك بتلك القوّة ولنتوهّم ما يلى منه علامات بزد تحت الحمل فيكون قد نفذ[3] الاسفين فامّا الاسفين فهذا بيانه وليس يجب باضطرار ان نستعمل للاسفين زاوية حادّة لانّا قد برهنّا أنّ كلّ ضربة يسيرة تمكن ان تحرّك كلّ اسفين اذا ضرب ضربات كثيرة واستعمالنا الزوايا الصغار[4] انّما هو للضربات[5] الصغار فاذًا ليس يجب باضطرار أن نستعمل* فى الاسفين[6] الزوايا[7] الصغار ⊙

[٣١] فامّا فى اللولب فانّه ليس يمكن ان نستعمل مثل هذا العمل ولذلك يحتاج ان نركب فى زاوية الدائرة اللولبيّة التى هى زاوية ابج عمود اج قائما على بج مساويا لغلظ الطولس الذى نريد ان نركبه فى الحفر اللولبىّ ونعمل اسطوانة يكون محيطها مساويا لخطّ بج ونرسم دائرة لولبيّة من هذه الخطوط فى بعد اج ونحفر الدائرة اللولبيّة ويكون بعدها مساويا لخطّ اج فبهذا العمل يمكنّا ان نركب تلك الخشبة فى الحفر اللولبىّ ⊙

so zeigt es sich uns, dafs, wenn der Keil $\alpha\beta\gamma$ eingeschlagen wird, er auch $\alpha\beta\delta\varepsilon$ eintreibt. Beweis. Verlängern wir die beiden Linien $\alpha\beta$ und $\delta\varepsilon$ nach ζ, so wird der Winkel $\alpha\zeta\varepsilon$ gleich dem Winkel $\alpha\beta\gamma$; $\alpha\zeta\varepsilon$ ist also ebenfalls ein

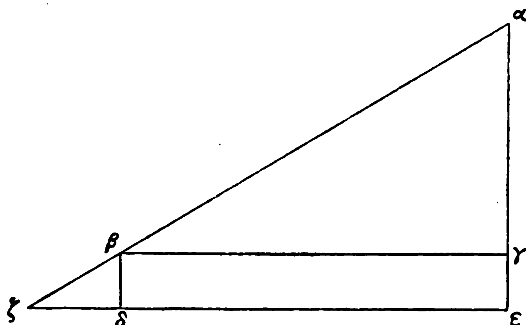


Fig. 39.

Keil, der sich durch dieselbe Kraft bewegen läfst. Denken wir uns nun den bei $\beta\zeta\delta$ gelegenen Teil desselben unter der Last, so ist der Keil eingetrieben. Für den Keil ist also dies der Beweis. Indes ist es nicht absolut notwendig bei dem Keil spitze Winkel anzuwenden, weil wir eben bewiesen haben, dafs jeder leichte Schlag jeden Keil bewegen kann, wenn die Schläge in grofser Anzahl fallen. Wir benutzen aber die spitzen Winkel gerade wegen der leichten Schläge. Es ist also nicht durchaus notwendig bei dem Keil kleine Winkel anzuwenden.

31 Bei der Schraube können wir nicht ebenso verfahren. Dazu müssen wir an dem Winkel des Schraubenganges, nämlich $\alpha\beta\gamma$ eine auf $\beta\gamma$ Senkrechte $\alpha\gamma$ anbringen, gleich der Dicke des Tylos, den wir in die Schraubengrube eingreifen lassen wollen, und einen Cylinder machen, dessen

1) LK زوايا 2) LK om. 3) BCL يعد K نفد
4) B om. 5) BCL الضربات 6) BCL للاسفين 7) B om.

اسطوانة اللولب(1) فتكون القوّة التى(2) عند م المعادلة للالف قبطار خمسة قناطير فان زدنا فى الوتد الذى هو(3) علامة م زيادة ما قويت القوّة التى هى خمسة قناطير وأمّا المحور الذى فى الفلكة واللولب فليركّبا فى ركن ثابت يكون فى هيئة التابوت لتكون اطراف المحور فى حائطى الركنين القائمين ويكون طرف اللولب السفلانى فى اسفل الركن الثابت يدور وطرفه الاعلى* فى وسط السطح الاعلى(4) ولنربع طرفه ونصيّر فيه فلكة يكون الوتد فيها وليكن هذا الركن الشبيه بالتابوت فى موضع ثابت فى موضع جيّد الاساس محكم الوثاقة اذا دوّر الوتد ارتفع الثقل ⊙

[٣٠] فامّا فى الاسفين واللولب فانّا نعمل هذا العمل تكون زاوية الاسفين الذى نريد ان نعمله زاوية(5) ابج وهى حادّة فاقول إنّ الاسافين التى تكون زواياها اكثر حدّة تحرّك الثقل باقلّ ضربة(6) اعنى باصغر قوّة ولتبلغ من صغرها ان لا تستعمل لحدّتها وليخرج* خطّ قائم على خطّ جب* وهو خطّ بد(7) ليقوى الاسفين وليخرج(8) خطّ مواز لخطّ بج وهو خطّ ده ولنخرج من علامة ه خطّا

1) BCK الوتد الذى من المداخل 2) BCK الوتد الذى فى وسط B كالسطح الاعلى فى وسطه 3) K add. عند 4) LCK ركن ثابت 5) LK om. 6) B om. 7) BCL om. 8) B om.

wir nun den Griff μ in Umdrehung versetzen, dreht sich die Schraube λ und zugleich mit der Schraube dreht sich das Rad $\varkappa$; durch dessen Umdrehung dreht sich die Achse und es wickelt sich das Seil der Rollen auf derselben auf, drückt das Hebelende bei γ nieder und die Last hebt sich. Sei nun der Durchmesser des Rades $\varkappa$ das Vierfache des Durchmessers der Achse ϑ, damit die Kraft bei $\varkappa$ zehn Talente sei, und sei die Speiche μ das Doppelte des Durchmessers des Schraubencylinders, so ist die Kraft bei μ, die den tausend Talenten das Gleichgewicht hält, fünf Talente. Wenn wir aber die Speiche beim Punkte μ ein wenig verlängern, so überwiegt die Kraft von fünf Talenten.

Das Rad mit der Welle und die Schraube seien in einem festen Gestell von der Art eines Kastens angebracht, damit die Enden der Achse in den senkrechten Wänden des Gestelles liegen, das untere Ende der Schraube im Boden des Gestelles sich drehe, und das obere Ende derselben in der Mitte der oberen Fläche. Dieses Ende mache man viereckig und bringe daran eine Scheibe an, in welcher die Speiche sitzt. Dieses feste kastenähnliche Gestell befinde sich an einem soliden, gut fundamentierten Orte von starker Festigkeit. Wenn man die Speiche dreht, hebt sich die Last.

30 Für den Keil und die Schraube wenden wir folgendes Verfahren an. Sei der Winkel des Keils, den wir machen wollen, $\alpha\beta\gamma$, nämlich ein spitzer. So behaupte ich, dafs die Keile, deren Winkel spitzer sind, die Last durch geringere Schläge, d. h. mittels einer kleineren Kraft bewegen, und sie mögen eine solche Kleinheit erreichen, dafs sie wegen ihrer Spitze nicht zu verwenden sind. Ziehen wir eine auf $\beta\gamma$ senkrecht stehende Linie, nämlich $\beta\delta$, damit der Keil zur Wirkung gelange. Ferner zu $\beta\gamma$ eine Parallele, nämlich $\delta\varepsilon$; ziehen wir nun durch den Punkt ε eine Linie unter rechtem Winkel, nämlich $\varepsilon\gamma$ und mache man einen Keil, wie der eben bestimmte, nämlich $\alpha\beta\delta\varepsilon$. Treiben wir seine Seite $\beta\delta$ so ein, dafs ein kleines Stück von ihm unter die Last kommt, und sei sein Kopf $\alpha\varepsilon$,

الثقل المعلوم فليكن الثقل المعلوم على علامة ا وليكن مخل على علامتى ب ج ولتكن علامة ب التى هى طرف المخل تحت الحمل وعلامة ج متعالية وليكن الحجر الذى يتحرك عليه المخل علامة د وليكن ج د خمسة امثال د ب فاذا القوّة التى عند ج تكون مائتى قنطار حتى تعادل ثقل ا ولنشدّ[1] فى طرف المخل الذى هو علامة ج آلة كثيرة الرفع تكون على علامة ه ولتكن الآلة الاخرى موازية لها فى ركن ثابت وهو عند علامة ز وليكن الشىء الذى يجذب هذه الآلة على علامة ج وليكن ذا خمس بكر فتكون القوّة الجاذبة اربعين قنطارا وليكن محور على فلكة وهو ط ك فامّا المحور فعليه[2] علامة ط وامّا الفلكة فعليها[2] علامة ك وليكن الحبل الذى يجرى على البكرة ملفوفا على المحور ولتكن الفلكة ذات اسنان* قائمةً على السطح الموضوع وليركّب فى اسنانها لولب وهو لولب ل وليكن له مقبض يدوّره على علامة م وليكن تركيب الاسنان[3] فى الحفر اللولبىّ فاذا ادرنا[4] مقبض[5]* م يدور[6] لولب[7] ل[8] ويدور بتدوير[9] اللولب فلكة ك فيدور بهذا التدوير محور ط ويلتفّ عليه الحبل الذى للبكر فيكبّس طرف المخل الذى عند ج ويرتفع الثقل فليكن قطر فلكة ك اربعة امثال قطر محور ط لتكون القوّة التى عند ك عشرة قناطير وليكن وتد م ضعف* قطر

mit $\varkappa$ bezeichnet und das Seil, das über die Rollen läuft, sei um die Achse gewickelt. Das Rad sei gezahnt und stehe senkrecht auf der gegebenen Ebene. In seine Zähne

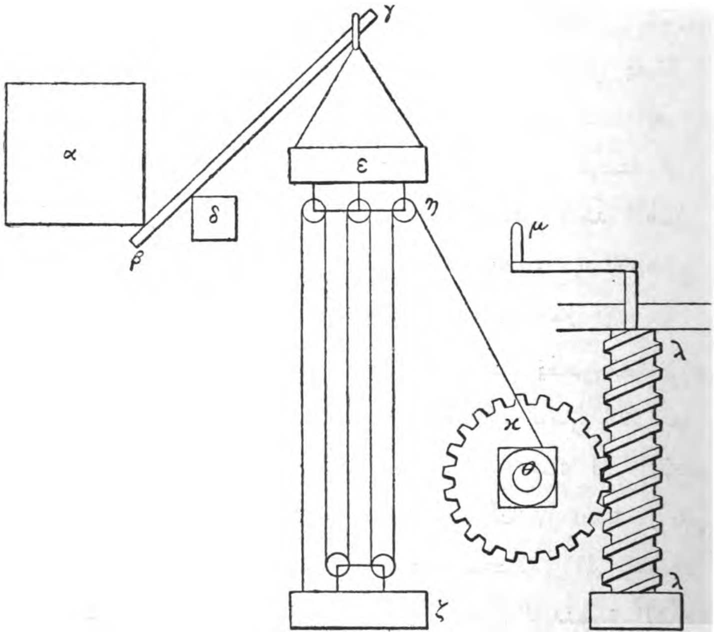


Fig. 38.

soll eine Schraube eingreifen, nämlich die Schraube λ, mit einem Handgriff, der sie in Umdrehung versetzt, und die Zähne mögen in die Schraubengrube eingreifen. Wenn

---

1) BC ونشدّ 2) LK على 3) B om. 4) Codd. أردنا LC أن ندور 5) K وتد 6) LC om. 7) LCK اللولب 8) LCK om. 9) K بتدويره

القوّة الى القوّة كنسبة الزمان الى الزمان كذلك نبيّن فى هذا ايضا ⊙

[٢٧] فامّا فى الاسفين واللولب فانّه لا يمكنّا ان نقول هذا لانّه كما قد[1] بيّنّا فيما قبل هذا أنّه ليس يعرض لشى منها امتناع لكن يعرض ضدّ ذلك وكلّما زادت القوّة التى فيهما صغر كل واحد منهما وانّما كان غرضنا ان نحتال فيما يزداد عظمه كزيادة[2] الثقل حتى يمكنّا العمل فيه بآلات صغار فيسهل ذلك فاذًا ليس نحتاج فى الاسفين واللولب ان نحتال فى تصغيرهما ليسهل العمل ⊙

[٢٨] فامّا ان يكون الابطاء ايضا قد يعرض لهذين فانّ ذلك ظاهر لان الضربات الكثيرة لها من الزمان اكثر مما للضربة الواحدة وتدوير اللولب دورات كثيرة له[3] من الزمان اكثر مما للدورة الواحدة وقد بيّنّا انّ نسبة زاوية الاسفين الى الزاوية كنسبة الضربة المحرّكة* الى الضربة المحرّكة[4] فاذًا نسبة الزمان* الى الزمان[5] كنسبة القوّة الى القوة ⊙

[٢٩] امّا فيما تقدّم فانّا حرّكنا الثقل المعلوم بمحاور كثيرة فى فلك وبامخال كثيرة مركّبة وببكر كثيرة وقد يمكنّا ان نحرّك الثقل المعلوم باجتماع هذه وتراكب بعضها ببعض خلا الاسفين لانّه وحده لا يحرّك إلّا بالضربة فلنبيّن[6] الان انّه قد يمكنّنا ان نراكب[7] الاربع قوى ونحرّك باجتماعها

Wir brauchen also bei der Schraube und dem Keil nicht nachzudenken über ihre Verkleinerung, um leichter damit arbeiten zu können.

28 Dafs die Verzögerung auch bei diesen beiden eintritt, ist klar, weil viele Schläge mehr Zeit beanspruchen als ein einziger, und das häufige Umdrehen einer Schraube mehr Zeit erfordert als eine Umdrehung. Wir haben also bewiesen, dafs das Verhältnis von Keil-Winkel zu Winkel wie das (umgekehrte) von bewegendem Schlag zu Schlag ist. Dann ist auch das Verhältnis von Zeit zu Zeit das (umgekehrte) wie das von Kraft zu Kraft.

29 Im Vorhergehenden haben wir die bekannte Last mittels vieler Wellen mit Rädern, vieler verbundener Hebel, und vieler Flaschenzüge bewegt. Wir können die bekannte Last aber auch durch eine Vereinigung derselben und durch Verbindung einzelner, aufser dem Keil, bewegen, weil dieser allein nur durch Schläge bewegt wird. Beweisen wir jetzt, dafs wir die vier Potenzen verbinden, und durch ihre Vereinigung die bekannte Last bewegen können.

Sei die bekannte Last beim Punkte α, und sei bei den Punkten $\beta\gamma$ ein Hebel; sei der Punkt β derjenige unter der Last, und der Punkt γ gehoben; das Hypomochlion sei der Punkt δ, und $\gamma\delta$ sei das Fünffache von $\delta\beta$; dann ist die Kraft bei γ zweihundert Talente, sodafs sie der Last α das Gleichgewicht hält. Befestigen wir am Ende des Hebels im Punkte γ einen Flaschenzug, der sich bei ε befindet, und sei der andre Teil des Werkzeuges ihm parallel an einer festen Stütze, nämlich beim Punkte ζ. Der Angriffspunkt dieses Werkzeuges sei beim Punkte γ und dieses selbst habe fünf Rollen; dann ist die ziehende Kraft vierzig Talente. Sei nun noch eine Welle mit einem Rade vorhanden, nämlich $\vartheta\varkappa$, und sei die Welle mit ϑ, das Rad

1) KL om. 2) K لزيادة 3) BC لها 4) B om.
5) Codd. om. 6) BCL ولنبيّن 7) LC om. K نداخل

ه التى هى رأس المخل مركّبة على علامة ج ليكون بحركة ه يتحرّك ج وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة ح وليكن متحرّكا الى د وليكن زح خمسة امثال حه فتكون[1] القوّة التى عند ز اربعين قنطارا وليكن مخل آخر وهو طك ولتركّب علامة ط على علامة ز ولتكن متحرّكة حركة ضدّ حركة ه وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة ل وليكن متحرّكا حركة فى الجهة التى ليس تتحرك اليها علامة ه وليكن كل ثمانية امثال لط فتكون القوّة التى عند ك خمسة قناطير فتعادل الثقل فان اردنا ان تقوى القوّة على الثقل نحتاج ان نصيّر كل اعظم من ثمانية امثال لط فان كان كل ثمانية امثال لط و زح خمسة امثال حه و جد اكثر من خمسة امثال دب فانّ القوّة تقوى على الثقل ☉

[٢٦] وقد يعرض فى هذا الابطاء على تلك النسبة لانّه ليس بين هذه الامخال وبين المحاور التى فى داخل الفلك المتحرّكة على مراكز فضل لانّ هذه الامخال هى كالمحاور[2] تتحرّك على علامات دحل التى هى الحجارة التى تدور عليها الامخال فتكون دوائر المحاور الدوائر التى ترسمها علامات بهط والفلك الدوائر التى ترسمها علامات جزك فكما أنّا قد بيّنّا فى تلك المحاور أنّ نسبة

1) BC فلتكن 2) LC المحاور

des Hebels, an den Punkt γ, damit bei der Bewegung von ε auch γ sich bewegt; das Hypomochlion sei beim Punkte η und (der Hebelarm ε) bewege sich nach δ hin; sei ferner $\zeta\eta$ das Fünffache von $\eta\varepsilon$, so beträgt die Kraft bei ζ vierzig Talente. Sei nun noch ein andrer Hebel vorhanden, nämlich $\vartheta\varkappa$ und verbinden wir den Punkt ϑ mit dem Punkte ζ und bewege sich dieser entgegengesetzt wie ε; sei ferner das Hypomochlion beim Punkte λ, und $\varkappa\lambda$ das Achtfache von $\lambda\vartheta$, und bewege sich dieses nach der Richtung, nach der sich ε nicht bewegt, so beträgt die Kraft bei $\varkappa$ fünf Talente und hält der Last das Gleichgewicht. Wollen wir aber, dafs die Kraft die Last aufwiegt, so müssen wir $\varkappa\lambda$ gröfser als das Achtfache von $\lambda\vartheta$ machen. Wenn also $\varkappa\lambda$ das Achfache von $\lambda\vartheta$, $\zeta\eta$ das Fünffache von $\eta\varepsilon$, und $\gamma\delta$ gröfser als das Fünffache von $\delta\beta$ ist, so wird die Kraft die Last aufwiegen.

26 Auch hierbei zeigt sich die Verzögerung nach demselben Verhältnisse, weil kein Unterschied besteht zwischen diesen Hebeln und den Wellen, die durch Räder gehen, die sich um Mittelpunkte bewegen. Denn die Hebel sind wie die Wellen, indem sie sich um die Punkte δ, η, λ bewegen, nämlich um die Steine, um welche sich die Hebel drehen. Die Achsenkreise sind die Kreise, welche die Punkte β, ε, ϑ beschreiben, und die Räder diejenigen Kreise, welche die Punkte γ, ζ, $\varkappa$ beschreiben. So wie wir für jene Achsen bewiesen haben, dafs das Verhältnis von Kraft zu Kraft das (umgekehrte) ist, wie das von Zeit zu Zeit, ebenso beweisen wir es auch hier.

27 Bei dem Keil und der Schraube können wir diese Behauptung aber nicht aufstellen, weil, wie wir im Vorhergehenden bewiesen haben, bei diesen kein Hindernis eintritt, sondern das Gegenteil davon, je gröfser die Kraft an ihnen beiden wird, desto kleiner wird jedes von ihnen. Unsere Absicht war aber über die Maschinen eine Betrachtung anzustellen, die mit der Vergröfserung der Last gröfser werden, sodafs wir imstande wären daran mit kleinen Maschinen zu arbeiten, und es so leichter würde.

الثقل من عند ب الى ج فانّها تريد ان تلفّ خمسة[1] احبل ممدودة* الى الخمس[2] بكر بقدر البعد الذى بين علامتى ب ج والقوّة التى عند ح تريد ان تلفّ الخمسة احبل خمس مرّات فإن نحن صيّرنا بعدى ب ج ه ز متساويين تكون بلفّ حبل واحد من الحبال التى فى بعد ب ج تلتفّ خمسة احبل من الحبال ألّتى فى بعد ه ز لأن الثقل اذا تحرك فى البعد الذى بين ب ج يحتاج الى ان تلتفّ له خمسة احبل بقدر بعد ب ج فتكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة القوّة المحرّكة الى القوّة المحرّكة ولأن لا يكون ازدياد[3] الحبال كثيرا[4] يحتاج الى ان يكون بعد ه ز خمسة امثال بعد ب ج و ط ك[5] ثمانية امثال ه ز فعلى هذا العمل ترفع[6] البكر الكثيرة الرفع معًا ⊙

[٢٥] فامّا المخل فان هذا الثقل يتحرّك بهذه القوّة بهذا العمل فليكن الثقل على علامة ا وليكن المخل ب ج وليكن الحجر الذى تحت المخل على علامة د ولتكن حركتنا للثقل بالمخل وهو مواز للارض وليكن ج د خمسة امثال د ب فتكون القوّة التى عند ج المعادلة للالف قنطار مائتى قنطار وليكن مخل آخر وهو ه ز ولتكن علامة

1) B ستّة K سبعة 2) BCL التى للخمس 3) B امداد CLK ازداد 4) CLK كثيرة B om. 5) Codd. ه ك 6) K يرتفع

hundert Talente beträgt, die Last von β nach γ hebt, so will sie die fünf um die fünf Rollen gespannten Seile um den Betrag der Entfernung zwischen den Punkten β und γ aufwickeln, während die Kraft bei η die fünf Seile fünfmal aufzuwickeln hat. Wenn wir nun die Entfernungen $\beta\gamma$ und $\varepsilon\zeta$ einander gleich machen, so wickelt sie, bei Aufwickelung eines von den Seilen in der Entfernung $\beta\gamma$, fünf von den Seilen in der Entfernung $\varepsilon\zeta$ auf, weil, wenn die Last sich in der Entfernung zwischen β und γ bewegt, fünf Seile um den Betrag der Entfernung $\beta\gamma$ aufgewickelt werden müssen, sodaſs sich Zeit zu Zeit (umgekehrt) verhält, wie bewegende Kraft zu bewegender Kraft. Damit die Vermehrung der Seile nicht zu zahlreich werde, muſs die Entfernung $\varepsilon\zeta$ das Fünffache der Entfernung $\beta\gamma$ und $\vartheta\varkappa$ das Achtfache von $\varepsilon\zeta$ sein. Bei diesem Verfahren heben die Flaschenzüge zusammen.

25 Auch mittels des Hebels läſst sich dieselbe Last durch dieselbe Kraft nach demselben Verfahren bewegen.

Es sei also die Last bei dem Punkte α und der Hebel sei $\beta\gamma$, das Hypomochlion beim Punkte δ. Wir bewegen die Last mittels des Hebels, welcher der Erde parallel ist, und

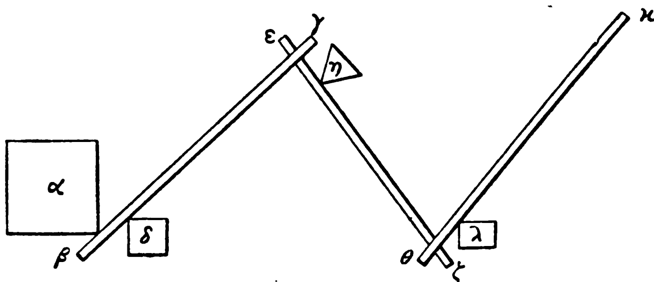


Fig. 37.

sei $\gamma\delta$ das Fünffache von $\delta\beta$. Es wird also die Kraft bei γ, die den tausend Talenten das Gleichgewicht hält, zweihundert Talente betragen. Sei nun ein andrer Hebel vorhanden, nämlich $\varepsilon\zeta$, und stoſse der Punkt ε, der Kopf

نقلّ الثقل اليه وليكن مثلا ذا خمس[1] بكر ولتكن البكرة التى يمدّ منها الثقل على علامة د فيحتاج ان تكون القوّة التى عند د المعادلة للالف[2] قنطار مائتى قنطار والقوّة المفروضة لنا انّما هى قوّة خمسة قناطير فلنخرج من بكرة د قلسا الى * آلة كثيرة[3] الرفع تكون عند ه وليكن ركن ثابت محاذيا لها عند ز وليكن ذلك الركن الثابت وما يليه عند علامة ه مثلا ذا[4] خمس بكر وليكن الممدود منه عند ح فيحتاج ان تكون القوّة التى عند ح قوّة اربعين قنطارا ونخرج ايضا طرف القلس الذى عند ح الى بكرة اخرى تكون عند ط وليكن الركن الثابت عند ك وليكن يمدّ من علامة ك ومن اجل أن الاربعين قنطارا هى ثمانية امثال الخمسة قناطير يحتاج ان تكون الكثيرة الرفع ذا ثمان بكر فتكون القوّة التى عند ك المعادلة للالف قنطار خمسة قناطير فلان تقوى القوة التى عند ك على الثقل ينبغى ان تكون البكر اكثر من ثمانية فتقوى القوّة على الثقل ⊙

[٢٤] فامّا ان يكون الابطاء قد يعرض فى هذه الآلة ايضا فانّ ذلك ظاهر لأنّ هذا فى مثل تلك النسبة فانّ القوّة التى عند د التى هى مائتنا قنطار اذا رفعت

1) BC الخمس 2) KL لالف 3) BC الآلة الكثيرة
4) LK ذو

Achtfache von fünf Talenten sind, der Flaschenzug acht Rollen haben müssen, sodaſs die Kraft bei $\varkappa$, die den tausend Talenten das Gleichgewicht hält, fünf Talente be-

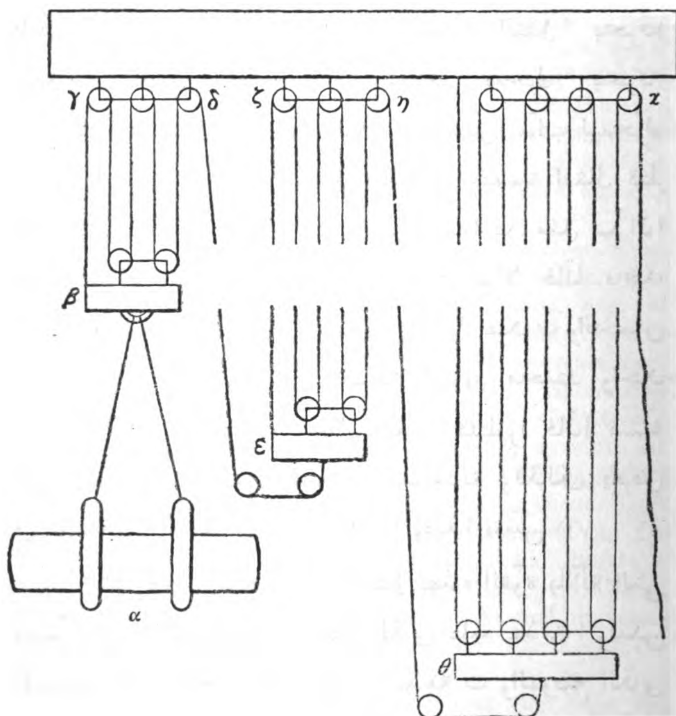


Fig. 36.

trägt. Damit aber die Kraft bei $\varkappa$ das Übergewicht über die Last erlange, müssen die Rollen mehr als acht an Zahl sein; dann wird die Kraft die Last aufwiegen.

24 Daſs die Verzögerung auch bei diesem Werkzeug eintritt, ist klar, weil der Vorgang nach demselben Verhältnis stattfindet. Denn wenn die Kraft bei δ, welche zwei-

مثال ذلك انّه لمّا كانت القوة عند فلكة ب مائتى قنطار وكانت تتحرّك الثقل يحتاج* الى دورة واحدة فى(1 ان يلتفّ القلس الذى* لفّ على ا(2 ليتحرّك الثقل* بحركة فلكة ب(3 *بقدر محيط(4 ا(5 وان كان يتحرك(6 بحركة فلكة د يحتاج ان تتحرّك فلكة ج خمس مرّات ليتحرّك محور ا مرّة واحدة لان قطر فلكة ب خمسة امثال قطر محور ج فخمسة امثال(7 ج مساوية لواحد مثل ب اذا نحن صيّرنا المحاور متساوية والفلك وإلّا فانّا نجد *تناسبا مشابها لهذا(8 انّ(9 فلكة د تتحرك عند ب والخمس محيطات(10 التى لد لها خمسة ازمان محيط واحد والمائتا(11 قنطار خمسة امثال اربعين قنطارا فاذًا نسبة القوّة المحرّكة الى القوّة المحركة بالمبادلة وكذلك يعرض فى المحاور الكثيرة والفلك الكثيرة وبهذا يتبيّن ⊙

[٢٣] ولزم ان نحرك هذا الثقل بهذه القوّة بالآلة التى تسمّى كثيرة الرفع وليكن الثقل الذى عليه علامة ا وليكن الموضع الذى يجبذ منه عليه(12 علامة ب والموضع الذى يحاذيه عليه(12 علامة ج وهو الركن الثابت الذى نريد ان

K فان كانت يتحرك 7) Codd. مثل 8) Codd. تتناسب منتشابهة لهذه 9) Codd. om. 10) BCL محيطان 11) Codd. المائتى 12) KL على

einmal bewegt, weil der Durchmesser von β das Fünffache des Durchmessers der Achse γ ist. Also ist das Fünffache von γ gleich dem einfachen β, wenn wir die Achsen und Räder je einander gleich machen. Wenn aber nicht, so finden wir eine dieser ähnlichen Proportionalität. Das Zahnrad δ bewegt sich bei β und die fünf Umläufe von δ beanspruchen die fünffache Zeit eines einzelnen (von β), und die zweihundert Talente sind das Fünffache von vierzig Talenten. Daher ist das Verhältnis der bewegenden Kraft zur Zeit ein umgekehrtes. Dasselbe zeigt sich bei mehreren Achsen und mehreren Rädern und wird auf dieselbe Art bewiesen.

23 Wir sollen nun dasselbe Gewicht mit derselben Kraft durch das Flaschenzug genannte Werkzeug bewegen. Das Gewicht sei mit α bezeichnet, der Ort, von dem es weggezogen wird, mit β und der ihm gegenüberliegende Ort mit γ, welches der feste Stützpunkt ist, bis zu welchem wir das Gewicht heben wollen. Habe der Flaschenzug z. B. fünf Rollen, und befinde sich die Rolle, von der aus die Last gezogen wird, bei dem Punkte δ, so mufs die Kraft bei δ, welche den tausend Talenten das Gleichgewicht hält, zweihundert Talente sein; die uns gegebene Kraft beträgt aber nur fünf Talente. Ziehen wir also von der Rolle δ ein Seil nach einem Flaschenzug beim Punkte ε, und sei ihm gegenüberliegend ein fester Stützpunkt bei ζ; befinden sich an diesem festen Stützpunkt und in seiner Nähe bei dem Punkte ε fünf Rollen, und befinde sich die Zugrolle bei η, so mufs die Kraft bei η eine Kraft von vierzig Talenten sein. Ziehen wir wieder das Ende des bei η befindlichen Seiles nach einem anderen Flaschenzuge bei ϑ und befinde sich der feste Stützpunkt bei $\varkappa$ und werde bei $\varkappa$ gezogen, so wird, weil vierzig Talente das

1) Codd. om. 2) B على فلكة اب على ح 3) CLK om.
4) BCKL قطر محور 5) K ج CL دج B دة 6) L om.

التقل نحتاج ان نصيّر فلكة زَ اعظم قليلا او نصيّر محور ةَ اصغر(1 قليلا فاذا فعلنا ذلك قوّيت القوّة على الثقل فان اردنا ان نستعمل محاورا وفلكا كثيرة فى هذا العمل فانّا نحتاج فيه الى هذه النسبة لانّا نحتاج إن نحن اردنا ان نصير القوّة معادلة للثقل أن يكون جميع النسب معادلة للثقل وإن اردنا ان نقوى على الثقل احتجنا ان نصيّر فى جملة النسب زيادة على معادلة الثقل أمّا(2 المحور الذى فى داخل الفلكة فعلى هذه الجهة تتحرّك به الثقل المعلوم فإن اردنا ان لا نصيّر الفلك ذات اوتاد نلفّ على المحاور والفلك قلوسا فيخرج لنا ذلك العمل لان الفلكة التى تحرك اخيرا يتحرّك بها المحور الاول الذى يشيل الثقل وهذه الصيغة التى للمحاور والفلك إنّما تكون فى اركان ثابتة تكون فيها ثقب تنفذ فيها اطراف المحاور وهذه الاركان اذا كان الثقل(3 يرتفع ينبغى ان تكون فى موضع ثابت وثيق ⊙

[٢٢] وقد يعرض لهذه الآلة وما اشبهها من الآلات ذوات القوّة الكبيرة ابطاء لان بقدر ضعف(4 القوّة المحرّكة عند عظم الثقل المتحرّك بذلك القدر نزيد فى الزمان فتكون بنسبة واحدة(5 القوّة(6 الى القوّة والزمان(7 الى الزمان

1) B ادقّ 2) B om. 3) LC om. 4) K صغر
5) B om. 6) K للقوّة 7) K للزمان

sein, wie es gegeben war. Damit aber die Kraft das Übergewicht über die Last erhalte, müssen wir das Rad ζ ein wenig gröfser oder die Achse ε ein wenig dünner machen. Wenn wir dies thun, wiegt die Kraft die Last auf.

Wenn wir bei diesem Vorgehen noch mehrere Räder und Achsen benutzen wollen, so müssen wir dasselbe Verhältnis anwenden, weil alle Verhältnisse der Last entsprechen müssen, wenn wir die Kraft mit der Last ins Gleichgewicht bringen wollen. Wenn wir aber wollen, dafs sie die Last aufwiegt, müssen wir den gesamten Verhältnissen einen Überschufs über die Gleichgewichtslage der Last geben.

Durch die Achse, die durch ein Rad geht, läfst sich also auf diese Weise eine bekannte Last bewegen. Wenn wir aber die Räder nicht gezahnt machen wollen, so winden wir um Achsen und Räder Seile, und dieselbe Arbeit läfst sich dann leisten, weil durch das Rad, das sich zuletzt bewegt, die erste Achse, die die Last zieht, bewegt wird. Diese Art Räder und Achsen anzuwenden, mufs in festen Stützen stattfinden, in welchen Löcher sind, worin die Enden der Achsen eindringen. Diese Stützen müssen, wenn die Last gehoben wird, an einem sicheren, festen Platze errichtet sein.

22 Bei diesem Werkzeug und den ihm ähnlichen von grofser Kraftentfaltung tritt aber eine Verzögerung ein, weil wir desto mehr Zeit gebrauchen, je geringer die bewegende Kraft im Verhältnis zu der zu bewegenden Last ist, sodafs Kraft zu Kraft und Zeit zu Zeit in demselben (umgekehrten) Verhältnis stehen. Ein Beispiel dafür ist folgendes: Da die Kraft bei dem Rade β zweihundert Talente war, und sie die Last bewegte, so bedarf man einer Umdrehung, damit das um α gewundene Seil sich aufwickele, sodafs die Last sich bei Bewegung des Rades β um den Betrag des Umfanges von α bewegt. Wird sie aber durch Bewegung des Zahnrades δ bewegt, so mufs das Rad auf γ sich fünfmal bewegen, damit die Achse α sich

الآلة نصيّر قطر الفلكة خمسة امثال قطر المحور فيحتاج فى هذا ان تكون القوّة المحرّكة لفلكة ب المعادلة لثقل الف قنطار مائتى قنطار والقوّة المفروضة التى لدا انّما هى خمسة قناطير فليس يمكنّا ان نحرك بفلكة ب الثقل المفروض بهذه القوّة فلنصيّر محوراما مضرسا وهو محور ج مركّبا فى اضراس فلكة ب لتكون اذا تحرّك محور ج تتحرك بحركته فلكة ب مع المحور المفروض اوّلا فيكون اذا حرّك محور ج يتحرك الثقل المفروض ويكون هذا المحور يتحرك بالقوّة التى تحرّك فلكة ب لانّا قد برهنّا ان كل المتحركات على مراكز خاصّة فانها تتحرك بقوّة يسيرة فلذلك لا يكون فصل بين حركة الثقل بفلكة ب وبين حركته بمحور ج فليكن ايضا على[1] محور ج[2] فلكة ثابتة عليه وهى فلكة د وليكن قطرها مثلا خمسة امثال قطر محور ج فيحتاج ان تكون القوّة التى عند فلكة د المعادلة للثقل اربعين قنطارا وايضا نفرض محورا آخر وهو محور ه مركبا فى[3] هذه الفلكة فتكون القوّة المحرّكة التى عند ه ايضا اربعين قنطارا ولتكن فلكة ما ثابتة على محور ه وهى فلكة ز وليكن قطرها ثمانية امثال قطر محور ه لانّ قوّة اربعين قنطارا ثمانية امثال قوة خمسة قناطير فتكون القوّة التى عند فلكة ز المعادلة لثقل الف قنطار خمسة قناطير وهذا كان مفروضا فلان تقوى القوّة على

Seil aufwickelt, im Punkte α an, und sei das daraufsitzende Rad bei β. Damit uns die Herstellung des Werkzeugs leichter falle, machen wir den Durchmesser des Rades fünfmal so groſs als den Durchmesser der Welle. Hierbei ist es nötig, daſs die das Rad β bewegende Kraft, die der Last von tausend Talenten das Gleichgewicht hält, zweihundert Talente sei; die angenommene Kraft, die wir haben, ist aber nur fünf Talente. Wir können also mit dieser Kraft durch das Rad β die angenommene Last nicht bewegen. Machen wir also eine gezahnte Welle, nämlich die Welle γ, die in die Zähne des Rades β eingreift, damit, wenn die Welle γ sich bewegt, durch ihre Rewegung das Zahnrad β zugleich mit der zuerst angenommenen Welle sich in Bewegung setzt, so daſs sich die Last bewegt, wenn die Welle γ sich dreht. Diese Welle läſst sich durch die Kraft, die das Zahnrad β bewegt, in Bewegung setzen, weil wir bewiesen haben, daſs alle sich um besondere Mittelpunkte bewegenden Gegenstände sich durch eine kleine Kraft bewegen lassen. Daher ist kein Unterschied, ob die Last durch das Zahnrad β, oder durch die Welle γ bewegt wird. Befinde sich ferner auf der Welle γ ein darauffestsitzendes Rad, nämlich δ, dessen Durchmesser z. B. das Fünffache desjenigen der Welle γ ist, so muſs die Kraft, die an dem Rad δ der Last das Gleichgewicht hält, vierzig Talente sein. Nehmen wir ferner noch eine Welle an, nämlich ε, die in dieses Zahnrad eingreift, so wird die bewegende Kraft bei ε ebenfalls vierzig Talente sein. Sei nun noch ein Zahnrad, das auf der Achse ε festsitzt, vorhanden, nämlich das Rad ζ, und sei sein Durchmesser das Achtfache des Durchmessers der Achse ε, weil die Kraft von vierzig Talenten das Achtfache der Kraft von fünf Talenten ist, so wird die Kraft bei ζ, die der Last von tausend Talenten das Gleichgewicht hält, fünf Talente

---

1) L om. 2) L om. 3) K على

ممكن لانّا إن صيّرنا قطر المحور نصف ذراع لكى يقوى ان يتعلّق الحمل عليه احتجنا ان نصير قطر الفلكة مائة ذراع او اكثر من ذلك قليلا وعمل هذا يصعب[1] وكذلك يعرض فى المخل وفى الآلة الكثيرة الرفع لانّه لا يمكنّا ان نعمل قسمة المخل على هذا* ولا نعمل كثرة البكر على هذا[2] القدر فلنحتال الآن فى تسهيل الامتناع الذى يعرض لهذه الثلاث القوى ⊙

[٢١] ونقول إنّ الدائرة هى اكثر* الاشكال كلّها حركة واسهلها كانت الدائرة متحرّكة على مركز واحد او كانت متحرّكة على سطح قائمةً عليه وكذلك[3] الاشكال القريبة منها اعنى الأكر والاساطين فانّ حركتها استداريّة كما قد بيّنّا فى المقالة التى قبل هذه ⊙ فهٰهنا نريد ان نحرّك اوّلا ثقلا عظيما بالمحور الداخل فى الفلكة بقوّة يسيرة ولا يعرض فيه ذلك الامتناع وليكن الثقل الذى نريد تحريكه الف قنطار مثلا والقوّة التى* نريد ان[4] نحرّكه بها خمسة قناطير فنحتاج اوّلا ان نصيّر القوّة معادلة للثقل لأنّ ذلك اذا ظهر امكنّا ان نصيّر تلك القوّة تقوى على الثقل بزيادة ما يسيرة نزيدها فى الآلة فلنصيّر المحور الذى يلتفّ عليه القلس المشدود فى الثقل على علامة* آ ولتكن الفلكة المركّبة على علامة[5] ب وليسهل علينا صنعة

---

1) CLB صعب 2) K om. 3) L om. 4) B om. 5) B om.

nun der Kreis um einen Mittelpunkt, oder auf einer Ebene, worauf er senkrecht steht, bewegen. Dasselbe gilt von den ihm verwandten Figuren, den Kugeln und den Cylindern; denn ihre Bewegung ist eine drehende, wie wir es in dem vorhergehenden Buche bewiesen haben.

Nehmen wir nun an, wir wollten zuerst eine grofse Last mittels des Rades auf der Welle durch eine kleine Kraft bewegen, ohne dafs dabei jenes Hindernis auftritt.

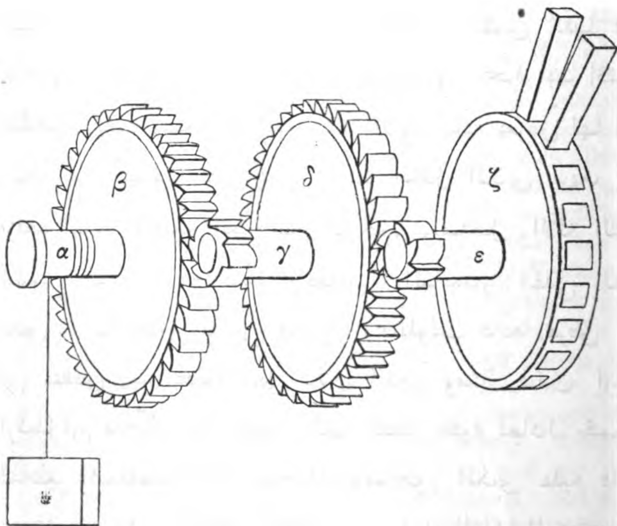


Fig. 35.

Sei die Last, die wir bewegen wollen, tausend Talente, und die Kraft, mit der wir dieselbe bewegen wollen, fünf Talente. Nun müssen wir zuerst die Kraft mit der Last ins Gleichgewicht bringen, weil wir, wenn dies eintritt, imstande sind, jene Kraft das Übergewicht über die Last erlangen zu lassen, indem wir einen kleinen Überschufs an dem Werkzeuge anbringen. Bringen wir nun die Welle, auf welcher sich das an der Last befestigte

ذلک فيما تقدّم من الاشكال التى رسمناها وأنا أُرى انّها الى مشاكلة الميزان اقرب منها الى مشاكلة الدوائر لما تقدم من ان اوائل برهان الدوائر انّما خرج لنا بالميزان فانّه[1] قد[2] تبيّن ان نسبة الثقل المتعلق فى الجهة الصغرى الى المعلق فى الجهة الكبرى كنسبة الاعظم من جزئَى الميزان الى الاصغر ⊙ وهذه الخمس القوىْ كلّها قد يلحقها امتناع ما من الفعل اذا اردنا ان نحرّك بها اثقالا عظاما[3] بقوة يسيرة امّا الثلاث[4] الاولى فانه يعرض لها ان نريد فى عظمها على قدر زيادة الثقل الذى نريد ان نرفعه اعنى الفلكة التى على المحور والمخل والآلة التى تسمّى كثيرة الرفع فامّا الاثنتان[5] الباقيتان اعنى التى تكون* بالاسفين والتى تكون[6] باللولب فانّه يعرض لها ان ننقص من عظمها على ذلک القدر ومثال ذلک إن[7] اردنا ان نحرّک ثقلا يكون الف قنطار بقوة تعادل خمسة قناطير واستعملنا هذه الحركة بالمحور الذى عليه فلكة يحتاج ان يكون الخطّ الخارج من مركز الفلكة الى محيطها مائتى مرّة مثل الخط[8] الخارج من مركز المحور الى محيطه واكثر من ذلک قليلا فان استعملنا ذلک فى المخل احتجنا ان يكون جزؤه الاعظم الذى ممّا يلى القوّة المحركة للثقل على هذه النسبة او اكثر قليلا واستعمال ذلک فى مثل هذه الآلات يصعب او يكاد ان يكون غير

Für all diese fünf Potenzen erhebt sich in der Praxis ein Hindernis, wenn wir durch sie mittels einer kleinen Kraft grofse Lasten bewegen wollen. Die drei ersten erfordern, dafs wir ihre Gröfse nach der Gröfse der Last, die wir bewegen wollen, steigern, nämlich das Rad auf der Welle, der Hebel und der Flaschenzug; die beiden übrigen, nämlich diejenigen, die durch den Keil und die Schraube entstehen, erfordern, dafs wir ihre Gröfse in demselben Verhältnisse verringern. Wollen wir z. B. eine Last von tausend Talenten durch eine Kraft, die fünf Talenten entspricht, bewegen, und uns für diese Bewegung des Rades auf der Welle bedienen, so mufs die vom Mittelpunkt des Rades nach seiner Peripherie gehende Linie zweihundert mal so grofs und noch etwas gröfser sein als die vom Mittelpunkt der Welle nach ihrer Peripherie gehende. Wenn wir uns aber hierbei des Hebels bedienen, so mufs der gröfsere Arm desselben, welcher nach der die Last bewegenden Kraft geht, nach diesem Verhältnisse oder noch etwas gröfser sein. Ein Verfahren mit Werkzeugen dieser Art ist schwer oder nahezu unmöglich; denn wenn wir den Durchmesser der Welle eine halbe Elle grofs machen, damit er stark genug ist um die Last daran aufzuhängen, so müssen wir den Durchmesser des Rades hundert Ellen oder etwas gröfser machen. Dies zu machen ist aber schwierig. Ebenso gilt es für den Hebel und den Flaschenzug, weil wir die Teilung des Hebels nicht so einrichten können, und die Anzahl der Rollen nicht nach diesem Betrag einrichten. Überlegen wir nun, wie den Hindernissen, die bei diesen drei Maschinen eintreten, abzuhelfen ist.

21 Wir behaupten nun, dafs der Kreis von allen Figuren die gröfste und leichteste Beweglichkeit besitzt, mag sich

1) BCL وانّه 2) BCL om. 3) K عظيمة 4) Codd. ثلاثة 5) K الاثنان 6) LC om. 7) BC add. اذا 8) KL om.

اللولبىّ شديد الانتصاب وكان عند بطلان تدوير اللولب لا يثبت فانّ العود يكون الذى يحرّك اللولب لانّه إذا كان فى الموضع غير المحفور[1] من اللولب حبل ما مشدودا وشدّ فى طرف ذلك الحبل ثقل ما وكان الحفر اللولبىّ شديد الانتصاب فانّا اذا رفعنا العود الذى يقال له طولس نرفع ايضا الثقل فاذا بطلنا من رفع العود يسكن الثقل ويكون متعلقا[2] لانّ هذا العود قد يضاد حفر اللولب اذا كان حفره شبيها بالموازى لضلع الاسطوانة فإن لم يكن على الاسطوانة* حفر لولبىّ وكان عليها حفر ميبرابىّ على احد اضلاع الاسطوانة[3] فانّ العود الذى يقال له طولس يكون شديد المضادة لهذا الحفر الميبرابىّ واذا كانت الدوائر اللولبية متقاربة ورفعنا الخشبة التى يقال لها طولس فانّا لا نحرّك الثقل إلّا ان تكون قوّة عظيمة تقلّ الطولس فامّا اذا كان الثقل معلّقا فى الطولس فانّه اذا كانت الدوائر اللولبية متقاربة وادرنا اللولب يرتفع الثقل واذا بطلنا من تدوير اللولب يسكن الثقل ويبقى متعلّقا واذا كانت الدوائر اللولبية منتصبة فانّا لا نحرّك الثقل إلّا ان تكون قوّة عظيمة تقهر اللولب فقد قلنا فى طبيعة اللولب وعمله ما يكتفى به ⊙

[٢٠] امّا ان تكون الخمس القوى التى تحرّك الثقل مشاكلة للدوائر التى على مركز واحد فقد تبيين

und am Ende dieses Seiles ein Gewicht angebunden wird, und die Schraubengrube sehr steil ist, wir auch das Gewicht heben, wenn wir das Tylos genannte Holz heben; wenn wir aber aufhören das Holz zu heben, das Gewicht ruht und hängen bleibt; denn dieses Holz stellt sich der Schraubengrube entgegen, wenn diese Grube der Seite des Cylinders nahezu parallel ist. Wenn nun auf dem Cylinder keine Schraubengrube, sondern entlang einer Seite des Cylinders ein Kanal angebracht ist, so ist dieses Tylos genannte Holz ein ganz besonderer Widerstand für diesen Kanal. Sind aber die Schraubengänge sehr nahe an einander, und wir heben das Tylos genannte Holz, so werden wir das Gewicht nicht heben, wenn nicht eine grofse Kraft den Tylos sich heben macht. Wenn nun die Last an dem Tylos hängt, und wir die Schraube drehen, während die Schraubenwindungen einander sehr nahe sind, so hebt sich die Last, und wenn wir aufhören die Schraube zu drehen, so ruht die Last und bleibt in der Schwebe. Sind aber die Schraubengänge steil, so bewegen wir die Last nicht, aufser wenn wir eine grofse Kraft haben, die die Schraube bezwingt. Hiermit haben wir über die Natur der Schraube und ihren Gebrauch genügend gesprochen.

20 Dafs die fünf Potenzen, die eine Last bewegen, den Kreisen um einen Mittelpunkt ähnlich sind, ist durch die Figuren, die wir im Vorhergehenden entworfen haben, bewiesen; mir aber scheint, dafs sie der Wage mehr ähnlich sehen als den Kreisen, weil im Vorhergehenden die Grundlagen des Beweises für die Kreise sich uns gerade durch die Wage ergaben. Denn es wurde bewiesen, dafs die auf der kleineren Seite aufgehängte Last sich zu der auf der gröfseren Seite aufgehängten verhält, wie der gröfsere Arm der Wage zum kleineren.

---

1) BCL om. غير K الغير محفور 2) B متعطّلا
3) B om.

وقد يجب ان يكون هذا الطولس اذا لم يتحرّك اللولب هاديا ثابتا فى موضعه بقوّة ما تكون له ولا يكون عند هدوء اللولب من التدوير يقوى الثقل عليه اعنى ان يكون اذا ركّب هذا العود فى الحفر اللولبىّ وكان شبيها بالسند له ان لا يزلق من الحفر اللولبى لانّه ان زلق انحطّ جميع الثقل الى الموضع الذى منه شيل وهذا العود لا يزلق من الحفر اللولبىّ اذا كان طرف العود مهندما على الحفر وكان الحفر[1] شبيها بالمسماة له[2] فلذلك نحتاج ان نصيّر دوائر اللولب متقاربة لتكون شبيهة بالموازية لقاعدة الاسطوانة التى اللولب مرسوم عليها فانّ الدوائر اذا كانت على هذا كانت شبيهة بالمسماة للعود الذى يقلّ الثقل فامّا إن كانت الدوائر اللولبيّة التى فى الحفر اللولبىّ شديدة الانتصاب حتّى تكون شبيهة بالموازية لضلع الاسطوانة فانّ العود الذى يقال له طولس اذا تعلّق عليه حمل ثقيل او أثقلته قوّة عظيمة فانّه يردّ* تدوير اللولب ويصيّره يدور[3] تدويرا ضدّ ذلك التدوير[4] الاوّل فمن هاهنا* يظهر لنا ان اللولب قد يمكنه ان يحرك العود الذى يقال له طولس وقد يمكنه ان يتحرّك بهذا العود ايضا فهو يحرّك العود اذا كان[5] حفره اللولبىّ متقارب الدوائر واذا كان عند بطلان تدوير اللولب يثبت[6] فى مكانه ويبقى الحمل معلّقا عليه وامّا اذا كان الحفر

die Last in gerader Richtung. Dieser Tylos mufs, wenn sich die Schraube nicht bewegt, ruhig und fest an seiner Stelle bleiben durch irgend eine an ihm wirkende Kraft, damit nicht die Last, wenn die Schraube sich zu drehen aufhört, das Übergewicht darüber erlangt, d. h. wenn dieses Holz in die Schraubengrube eingreift, und wie eine Stütze für dieselbe ist, darf es nicht aus der Schraubengrube herausgleiten, weil, wenn es herausgleitet, die ganze Last sich nach der Stelle senkt, von woher sie gehoben wurde. Dieses Holz gleitet nicht aus der Schraubengrube heraus, wenn das Ende desselben genau in die Grube pafst, und die Grube einem Stiefel für es ähnlich ist. Daher müssen wir die Schraubengänge nahe an einander legen, damit sie nahezu parallel der Grundfläche des Cylinders werden, auf welchem die Schraube konstruiert ist. Wenn die Windungen so angelegt sind, so sind sie einem Stiefel für das Holz, welches die Last hebt, ähnlich. Wenn aber die Schraubengänge in den Schraubengruben sehr steil sind, so dafs sie fast der Seite des Cylinders parallel sind, so hält das Tylos genannte Holz, wenn man an ihm eine schwere Last aufhängt, oder eine grofse Kraft es drückt, die Drehung der Schraube auf, und bewirkt eine der ersten entgegengesetzten Drehung. Hieraus erhellt, dafs die Schraube sowohl das Tylos genannte Holz in Bewegung setzen, als auch durch dieses Holz in Bewegung gesetzt werden kann; sie wird das Holz bewegen, wenn die Schraubengrube aus einander nahe gelegenen Windungen besteht; wenn die Schraube aufhört sich zu drehen, bleibt dasselbe an seinem Platze stehen, und die Last bleibt an demselben hängen. Wenn dagegen die Schraubengruben sehr steil sind, und der Tylos beim Aufhören der Schraubendrehung nicht feststeht, so ist es dieses Holz, welches die Schraube bewegt, weil, wenn an dem nicht mit einer Grube versehenen Ort der Schraube ein Seil befestigt

1) LC om. 2) LK om. 3) B om. 4) LCK om. 5) B om. 6) Codd. ثبت

الذى دوائره اكثر انتصابا يحرك الثقل بقوّة اعظم والذى يكون اكثر انخفاضا يحرك الثقل بقوّة اقلّ ⊙

[١٨] فامّا انّه اذا كانت فلكة ذات اوتاد مركّبة فى حفر اللولب فانه[1] بدورة] واحدة يدورها اللولب: يحرك من الفلكة وتدا واحدا فانّا نبيّن ذلك بهذه الجهة ⊙[2] نتوهّم لولبا يكون لولب اب ولتكن الدوائر اللولبية التى فيه اج ده زح ولتكن هذه الدوائر اللولبية كلّ واحدة منها دائرة واحدة ولنفرض فلكة موضوعة ذات اوتاد تكون حجهط ولتكن اوتادها حج جه هط ولتكن مركّبة فى الدوائر اللولبية وليكن وتد جه مركّبا فى دائرة لولبية تركيبا مستقصا فتكون الاوتاد الاخر غير مركّبة فى الدوائر اللولبية الأخر فان ادرنا اللولب حتّى تندفع علامة ه الى ما يلى[3] ج تصير ه عند ج فاذا دار اللولب دورة واحدة وصار وتد جه فى موضع وتد جح ووتد هط فى موضع وتد جه[4] ووتد هط ايضا فى موضع وتد جه فانه[1] فى دورة واحدة يدورها اللولب يدور البعد الذى للوتد كلّه وكذلك ينبغى ان نتوهّم فى الاوتاد الاخر فيكون على قدر ما فى الفلكة من الاوتاد بذلك القدر يدور اللولب من الدورات الى ان تدور الفلكة دورة واحدة ⊙

[١٩] فاللولب اذا دار يحرّك الخشبة التى تسمّى طولس على ما تقدم فى قولنا ويشيل الثقل على استقامة

18 Wenn nun ein Rad mit Zähnen in die Grube einer Schraube eingreift, so bewegt die Schraube bei einer Umdrehung, die sie macht, einen Zahn des Rades weiter. Dies zeigen wir jetzt auf folgende Weise.

Denken wir uns eine Schraube, es sei die Schraube $\alpha\beta$, und seien ihre Schraubengänge $\alpha\vartheta$, $\delta\varepsilon$, $\zeta\gamma$, und sei jede einzelne dieser Windungen einfach. Denken wir uns

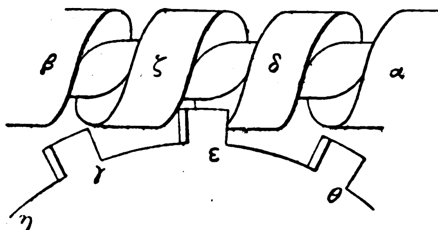


Fig. 34.

nun ein Rad mit Zähnen daran gelegt, nämlich $\eta\gamma\varepsilon\vartheta$, und seien seine Zähne $\eta\gamma$, $\gamma\varepsilon$, $\varepsilon\vartheta$ zum Eingreifen in die Schraubengänge passend. Es greife der Zahn $\gamma\varepsilon$ in einen Schraubengang vollständig ein, so werden die übrigen Zähne nicht in die anderen Schraubengänge eingreifen. Wenn wir nun die Schraube drehen, bis der Punkt ε nach der Lage von γ gebracht wird, so fällt ε auf γ. Wenn also die Schraube eine Umdrehung macht, und der Zahn $\gamma\varepsilon$ an die Stelle des Zahnes $\gamma\eta$, der Zahn $\varepsilon\vartheta$ an die Stelle des Zahnes $\gamma\varepsilon$ kommt, und der Zahn $\varepsilon\vartheta$ nun die Stelle von $\gamma\varepsilon$ einnimmt, so verschiebt sich bei einer Umdrehung, die die Schraube macht, der ganze Raum des Zahnes. Ebenso müssen wir uns den Vorgang bei den übrigen Zähnen denken. Soviel Zähne also an dem Rade sind, so viele Umdrehungen macht die Schraube, bis das Rad eine Umdrehung gemacht hat.

19 Wenn sich die Schraube dreht, so bewegt sie das Tylos genannte Holz, nach dem Frühergesagten, und hebt

1) Codd. فان 2) K add. ثمّ 3) K add. علامة 4) BCL om.

ومن اجل انّا[1] عند استعمالنا اللولب احتجنا ان نضع في الحفر الاوّل الذى للدائرة اللولبية الخشبة التى تسمّى طولس وهى التى تقلّ الثقل فانّه[2] عند تدوير اللولب يرتفع هذا العود ويرتفع بارتفاعه الثقل ⊙

[١٧] فينبغى ان لا نتوهّم اللولب الّا اسفينا ملتفّا لان المثلّث الذى يرسم الدائرة اللولبية هو فى هيئة الاسفين ورأسه هو الضلع الذى هو بعد الدائرة اللولبية وزاوية الاسفين الحادّة هى زاوية المثلّث الباقية التى يكون عندها العود المسمّى طولس فلهذا صار اللولب اسفينا ملتويا ملتفّا يفعل بلا[3] ضربة لكن باستدارته وتدويره يقوم فيه[4] مقام الضرب* فى الاسفين[5] فيقلّ الثقل واقلاله الحمل هو بضدّ الفعل الذى يفعله الاسفين لانّ الاسفين انّما يفعل بنفوذه الى داخل فهو يحرك الثقل والثقل ثابت فى مكانه وامّا اللولب فانّه اسفين ملتو وهو ثابتا[6] فى مكانه يقل[7] الثقل اليه وكما انّه قد تبيّن فى الاسفين أن الذى تكون زاويته اصغر يحرك الثقل بقوّة اقلّ من القوّة التى تحرّك الثقل بالاسفين الذى زاويته اعظم كذلك يلزم ان نقول فى هذا إنّ[8] اللولب الذى الابعاد التى بين دوائره اللولبية اقل فانّ[9] حركته للثقل اكثر سهولة من حركة اللولب الذى تكون الابعاد التى بين دوائره اللولبيّة اكثر لانّ قلّة البعد تصيّر الزوايا اصغر فيكون اللولب

windung das Tylos genannte Holz zu legen, und es dasjenige ist, welches die Last hebt, so hebt sich dieses Holz beim Umdrehen der Schraube, und mit ihm hebt sich die Last.

17 Wir müssen uns aber die Schraube nur als gewundenen Keil vorstellen, weil das Dreieck, welches die Schraubenwindung bestimmt, die Gestalt des Keiles hat; der Kopf desselben ist die Seite, welche die Höhe der Schraubenwindung darstellt, und der spitze Winkel des Keiles ist der übrige Winkel des Dreiecks, bei welchem sich das Tylos genannte Holz befindet. Deshalb ist die Schraube ein gewundener, aufgerollter Keil, der nicht durch Schlagen wirkt, sondern durch seine Drehung. Das Umdrehen vertritt bei ihm die Stelle des Schlagens beim Keile, sodafs er die Last hebt. Indem er die Last hebt, wirkt er gegensätzlich zur Wirkung des Keils, weil der Keil nur wirkt, indem er ins Innere eindringt, und so die Last bewegt, während die Last an ihrer Stelle bleibt; die Schraube aber ist ein gewundener Keil, der die Last zu sich hebt, indem er an seiner Stelle verweilt.

Wie es bei dem Keile bewiesen wurde, dafs derjenige mit kleinerem Winkel die Last mittels einer geringeren Kraft bewegt, als diejenige ist, die die Last mittels eines Keiles mit gröfserem Winkel bewegt, ebenso müssen wir bei derjenigen Schraube, bei welcher die Abstände zwischen den Schraubenwindungen kleiner sind, sagen, dafs sie die Last leichter bewegt, als die Schraube, deren Abstände zwischen den Windungen gröfser sind, weil der geringere Abstand einen kleineren Winkel bewirkt. Daher bewegt die Schraube, deren Windungen steiler sind, die Last mittels einer gröfseren Kraft, während die flache Schraube die Last mittels einer kleineren Kraft bewegt.

---

1) Codd. أن 2) Codd. وأن 3) LCK om. 4) K om. 5) LCK om. 6) Codd. ثابت 7) Codd. نقل 8) LK om. 9) LK om.

اردنا ان نرسم لولبا ناخذ عودا صلبا قويّا يكون طوله على القدر الذى نريد وليكن ما نريد ان نلولبه منه مخروطا وليكن غلظه متساوى الاجزاء ليكون بسيطه اسطوانة* ونرسم على بسيطها ضلع اسطوانة([1] ونقسم هذا الضلع باجزاء متساوية تكون على قدر عرض الدائرة اللولبية ونفرض على سطح خطّين مستقيمين احدهما قائم على الآخر ولنصيّر احد الخطّين* مساويا لمحيط الاسطوانة والاخر على قدر عرض موضع الدائرة اللولبية ولنصل طرفي الخطّين([2] بخطّ يوتّر الزاوية القائمة ونعمل مثلّثا من صفر رقيق مساويا لهذا المثلّث وليكن فى رقّته على القدر الذى يمكنّا تعويجه كيف اردنا فاذا فعلنا ذلك ركّبنا الضلع المساوى لعرض موضع الدائرة اللولبية على اوّل الابعاد المتساوية التى قسمناها من ضلع الاسطوانة ثمّ نلفّ المثلّث الصفر الرقيق على الخشبة الاسطوانية فنصيّر الزاوية الحادّة الباقية من المثلّث الى الزاوية القائمة من الشكل الصفر لان قاعدة المثلث مساوية لمحيط الاسطوانة ثم نلزق([3] كلتى الزاويتين ونرسم الدائرة اللولبية على وتر الزاوية القائمة([4] ثم ندير المثلّث الى البعد الثانى ونركب ضلع المثلّث الرقيق على القسم الثانى وبمثل ذلك العمل الاول ايضا نرسم الدائرة اللولبيّة الثانية ملاصقة للدائرة الاولى وكذلك نفعل حتّى نرسم جميع ابعاد الخشبة الاسطوانية

Wir sagen also: Wenn wir eine Schraube konstruieren wollen, so nehmen wir ein starkes hartes Holz von der unseren Absichten entsprechenden Länge; der Teil, den wir zur Schraube machen wollen, sei gedrechselt und seine Dichte sei gleichmäſsig in allen Teilen, sodaſs seine Oberfläche ein Cylinder ist, und ziehen wir auf seiner Oberfläche eine Seite des Cylinders. Teilen wir nun diese Seite in gleiche Teile, entsprechend der Höhe des Schraubenganges, und nehmen wir in einer Ebene zwei gerade Linien an, deren eine senkrecht auf der anderen steht, machen die eine derselben gleich dem Umfang des Cylinders, die andre gemäſs der Höhe des Schraubenganges, verbinden die beiden Endpunkte der beiden Linien durch eine dem rechten Winkel gegenüberliegende Linie und machen aus dünnem Messing ein diesem Dreieck gleiches (kongruentes) Dreieck, von solcher Dünnheit, daſs wir es biegen können, wie wir wollen. Nachdem dies gethan, legen wir die Seite, welche der Höhe des Schraubenganges gleich ist, auf den ersten der gleichen Abstände, die wir auf der Seite des Cylinders abgeteilt haben, dann winden wir das dünne messingene Dreieck um das cylindrische Holz und lassen den übrigen spitzen Winkel des Dreiecks nach dem rechten Winkel der messingenen Figur gelangen, weil die Grundlinie des Dreiecks gleich dem Umfang des Cylinders ist. Dann heften wir die beiden Winkel zusammen, und ziehen die Schraubenwindung gemäſs der dem rechten Winkel gegenüberliegenden Linie. Darauf drehen wir das Dreieck nach dem zweiten Abstand und legen die Höhe des dünnen Dreiecks auf den zweiten Abstand. Im gleichen Verfahren wie zuerst ziehen wir auch die zweite Schraubenwindung in unmittelbarem Zusammenhang mit der ersten. Ebenso verfahren wir, bis wir alle Abstände des cylindrischen Holzes gezeichnet haben. Weil wir aber beim Gebrauch der Schraube nötig hatten, in die erste Vertiefung der Schrauben-

1) LCK om. 2) B om. 3) B نلصق 4) B om.

راسه رد من جميع الاسفين وكذلك ايضا قدر الزمان الذى يتحرك فيه الاسفين الذى راسه خطّ رد وقدر حركة البعد الذى يحرّكه الاسفين كله بضربة بج ونسبة ذلك ايضا كنسبة ضربة به الى الضربة كلها وعلى وجه آخر ايضا لا نصيب اختلافا بين حركة ضربة بج رأس دم اعنى الاسفين كلّه وبين حركة كل واحدة من ضربات به هح حط طج كل واحد من الاسفينات التى روسها مف فق قر رد لان الضربات الجزئيّة تساوى الضربة الكلّيّة فضربة به تنفذ من الاسفين الذى راسه مف بقدر ما ينفذه كل الضربة من كل الاسفين وكل ضربة من الضربات الباقية كل واحد من الاسافين الباقية فان كان المدفوع اسفينا واحدا من الأسافين الصغار اذا ضرب ضربا كثيرا ودفع فانّه يدفع القدر الذى يدفعه كل الاسفين بكلية الضربة الواحدة وذلك بحركة هذا القدر من الضربات اعنى بقدر ضربات به هح حط طج وعلى هذا تكون نسبة الزمان الى الزمان كنسبة الضربة* الى الضربة(1 وراس الاسفين كله الى راس احد الاسافين الصغار فبالقدر الذى به تكون زاوية الاسفين اصغر بذلك القدر ينفذ الاسفين بقوة اصغر من القوّة التى تنفذ الاسفين كله ⊙

[١٦] وقد بقى بعد هذا ان نشرح السبب فى اللولب فلنبدأ اولّا بوضع ما يعرض للدوائر اللولبية فنقول إنّا اذا

Kopf $\delta\varrho$ ist, eine der Linie $\varkappa o$ gleiche Entfernung zurückgelegt wird, nämlich der Abstand $\delta\varrho$ um die Entfernung $\alpha\delta$; folglich bewegt sich $\varrho\delta$ durch den Schlag $\beta\varepsilon$ um $\alpha\delta$.

Hieraus erhellt, dafs der Betrag des Schlages $\beta\varepsilon$ von $\beta\gamma$ dem Keile entspricht, dessen Kopf $\delta\varrho$ ist, von dem ganzen Keil. Ebenso verhält es sich mit der Zeit, innerhalb welcher der Keil, dessen Kopf $\delta\varrho$ ist, sich bewegt, und mit dem Betrag der Entfernung, die der ganze Keil durch den Schlag $\beta\gamma$ zurücklegt, und dies Verhältnis ist dasselbe, wie das des Schlages $\beta\varepsilon$ zum ganzen Schlage.

Auch unter einem andern Gesichtspunkt finden wir keinen Unterschied zwischen der Bewegung des Schlages $\beta\gamma$ auf $\delta\mu$, d. i. auf den ganzen Keil, und zwischen der Bewegung jedes einzelnen der Schläge $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\vartheta$, $\vartheta\gamma$, auf jeden einzelnen von den Keilen, deren Köpfe $\mu\pi$, $\pi\chi$, $\chi\varrho$, $\varrho\delta$ sind, weil die Teilschläge dem ganzen Schlage gleichkommen. Also treibt der Schlag $\beta\varepsilon$ den Keil mit dem Kopfe $\mu\pi$ soweit ein, als der ganze Schlag den ganzen Keil eintreibt, und jeder einzelne von den übrigen Schlägen jeden einzelnen der übrigen Keile.

Wenn der einzutreibende Keil einer der kleinen Keile ist und durch einen heftigen Schlag eingetrieben wird, so wird er um soviel eingetrieben, als der ganze Keil durch die Gesamtheit der Schläge. Dies tritt ein durch den entsprechenden Betrag an Schlägen, nämlich durch den Betrag der Schläge $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\vartheta$, $\vartheta\gamma$; demgemäfs ist das Verhältnis der Zeit zur Zeit, wie das des Schlages zum Schlage, und das des ganzen Keilkopfes zum Kopfe des einzelnen kleinen Keils. Je kleiner nun der Winkel des Keiles wird, desto geringer kann auch die Kraft sein im Verhältnis zu der Kraft, die den ganzen Keil eintreibt.

16 Es bleibt hiernach noch übrig die wirkende Ursache bei der Schraube darzulegen. Beginnen wir zunächst damit, das auseinanderzusetzen, was sich bei Schraubenwindungen zeigt.

---

1) B om.

ضربة بج تتحرك بعد اد فان هج تتحرك بعدا اقلّ من اد فلتتحرك بعد از وايضا اذا زيدت ضربة به فان كان بعد اد يتحرك بضربة بج فاذًا ضربة به فى ذات نفسها تتحرك بعد دز فان توهّمنا ضربة بج مقسومة بضربات مساوية لبه[1] وهى به هح حط طج فان بعد اد ينقسم باقسام مساوية لدز[2] وهى اك كل لز زد فتكون كل واحدة من ضربات به هح حط طج تتحرك كل واحد من ابعاد دز زل لك كا فلنتوهم خطوطا موازية لخطّ دم الذى هو راس الاسفين وهى خطوط زن لس كع وخطوطا ايضا موازية لخطّ اد وهى خطوط فن قس رع فتكون خطوط در رق قف فم متساوية فان وصلنا علامات ف ق ر بعلامة ا* تحصل[3] اربعة إسفينات[4] تكون زواياها عند علامة ا[5] وتكون رؤسها خطوط مف فق قر رد ويكون كل واحد منها يتحرك بضربة مساوية لضربة به بعدا مساويا لخط اد فسواء ان يقال إنّ ضربة به تنفذ من[6] الاسفين كلّه بعد* دز اعنى بعد كا وان ضربة به تنفذ الاسفين الذى رأسه رد ببعد[7] اد لان بحركة كل الاسفين يتحرك خط كع ببعد اك وبحركة الاسفين الذى راسه در* يتحرك البعد المساوى لخط كع وهو بعد رد ببعد اد فاذًا رد يتحرك بضربة به بعد اد ومن هاهنا ظهر لنا أن قدر ضربة به من بج هو قدر الاسفين الذى

Entfernung (von der ursprünglichen Stelle) sei $\alpha\delta$. Es sei nun möglich ihn mit einem geringen Schlage zu bewegen. Nehmen wir von dem Schlag $\beta\gamma$ einen Schlag, etwa $\beta\varepsilon$, der der kleinste von allen bekannten Schlägen ist, so behaupte ich, daſs der Schlag $\beta\varepsilon$ für sich allein einen Teil des Keils bewegt.

Beweis: Da der Schlag $\beta\gamma$ die Bewegung der Entfernung $\alpha\delta$ hervorbringt, so bewirkt $\varepsilon\gamma$ eine kleinere Bewegung als die Entfernung $\alpha\delta$; es bewirke die Entfernung $\alpha\zeta$. Wird ferner der Schlag $\beta\varepsilon$ hinzugefügt, und wird die Entfernung $\alpha\delta$ durch den Schlag $\beta\gamma$ bewirkt, so bewirkt der Schlag $\beta\varepsilon$ für sich allein die Entfernung $\delta\zeta$. Denken wir uns nun den Schlag $\beta\gamma$ in $\beta\varepsilon$ gleiche Schläge geteilt, nämlich in $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\vartheta$, $\vartheta\gamma$, so wird die Entfernung $\alpha\delta$ in $\delta\zeta$ gleiche Teile geteilt, nämlich $\alpha\varkappa$, $\varkappa\lambda$, $\lambda\zeta$, $\zeta\delta$, und so bewirkt jeder der Schläge $\beta\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, $\eta\vartheta$, $\vartheta\gamma$, je eine von den Entfernungen $\delta\zeta$, $\zeta\lambda$, $\lambda\varkappa$, $\varkappa\alpha$. Denken wir uns nun zum Kopf des Keiles, zur Linie $\delta\mu$ parallele Linien, nämlich $\zeta\nu$, $\lambda\sigma$, $\varkappa o$; ebenso zur Linie $\alpha\delta$ parallele, nämlich $\pi\nu$, $\chi\sigma$, ϱo, so werden die Linien $\delta\varrho$, $\varrho\chi$, $\chi\pi$, $\pi\mu$ einander gleich sein. Verbinden wir nun die Punkte π, χ, ϱ mit dem Punkte α, so entstehen vier Keile, deren Spitzen bei dem Punkte α und deren Köpfe die Linien $\mu\pi$, $\pi\chi$, $\chi\varrho$ und $\varrho\delta$ sind. Jeder von ihnen wird durch einen dem Schlage $\beta\varepsilon$ gleichen Schlag um eine der Linie $\alpha\delta$ gleiche Entfernung bewegt, und es ist also gleich, ob man sagt, der Schlag $\beta\varepsilon$ läſst den ganzen Keil um die Entfernung $\delta\zeta = \varkappa\alpha$ eindringen, oder der Schlag $\beta\varepsilon$ läſst den Keil, dessen Kopf die Linie $\varrho\delta$ ist, um die Linie $\alpha\delta$ eindringen, weil sich bei Eindringen des ganzen Keils die Linie $o\varkappa$ um $\alpha\varkappa$ verschiebt, und bei Eindringen des Keils, dessen

---

1) Codd. بـ‍ه 2) Codd. دز 3) K ا يكون عند زاوية 4) CL مثلثات 5) K om. ا — يكون, B pro ا — تحصل hbt.: تكون عند زاوية اربع اسفينات 6) B فى 7) B om.

[١٤] امّا الاسفين فان الضربة تحرّكه فى زمان ما لانّه لا تكون حركة بلا زمان وهذه الضربة انّما تفعل بالمماسّة فقط التى لا تثبت على الاسفين ولا اقلّ زمان فيظهر لنا من هاهنا أنّه[1] بعد ان تفارق الضربة الاسفين يتحرّك وقد نعلم ذلك ايضا من جهة اخرى إنّه بعد الضربة بزمان ما تكون من الاسفين وحيات وقلع من قلعة على حدّته فامّا ان تكون الضربة وان كانت لا تقيم على الاسفين ولا اقلّ زمان تفعل فيه فان ذلك ظاهر لنا من الحجارة التى يرمى بها والسهام كان رميها من يد فقط او من آلة اخرى لانّه بعد ان يفارق الحجر اليد نراه ينفذ الى موضع بعيد بقوّة بلا ان تكون اليد تدفعه فمن هاهنا يظهر لنا أنّ الضربة لا تقيم على الاسفين ولا اقلّ زمان ولكنّ الاسفين بعد الضربة يأخذ بحركة ⊙

[١٥] فاقول انّ كل ضربة وان كانت يسيرة فانها تحرك كل اسفين فلنفرض اسفينا ما يكون زاويته على علامة ا ويكون راسه خطّ دم ولنكن تحركه ضربة بج وليكن بعده اد وليكن يمكن ان يحرّك بضربة يسيرة ولنفصل من ضربة بج ضربة تكون ضربة به[2] وهى اقلّ من جميع الضربات المعلومة فاقول إنّ ضربة به هى فى ذات نفسها تدفع جزءا ما من الاسفين برهان ذلك من اجل ان

1) Codd. ان   2) K add. ا وهى

14 Was nun den Keil anlangt, so bewegt ihn der Schlag in einer gewissen Zeit, weil es keine Bewegung ohne Zeit giebt; dieser Schlag wirkt nur durch die Berührung, die nicht am Keile, auch nicht die geringste Zeit haftet. Hieraus ist also zu ersehen, dafs der Keil sich bewegt, nachdem der Schlag aufhört. Wir erkennen dies auch auf andre Weise. Eine gewisse Zeit nach dem Schlage kommen von dem Keil Geräusche und Berstungen von dem Bersten an seiner Spitze. Dafs aber der Schlag, auch wenn er nicht, selbst nicht die geringste Zeit, auf dem Keile festsitzt, bei ihm wirkt, ersieht man an Steinen, mit denen man wirft oder an Pfeilen, mögen sie nun mit der Hand allein oder durch sonst ein Werkzeug geschleudert werden. Denn wenn der Stein die Hand verlassen hat, sieht man ihn mit Macht nach einem Orte fliegen, ohne dafs die Hand ihn noch weiter stöfst. Daraus ersehen wir, dafs der Schlag auch nicht die geringste Zeit auf dem Keile verweilt, dafs der Keil aber nach dem Schlage sich zu bewegen beginnt.

15 Ich behaupte nun, dafs jeder Schlag, auch wenn er nur leicht ist, jeden Keil bewegt. Nehmen wir irgend

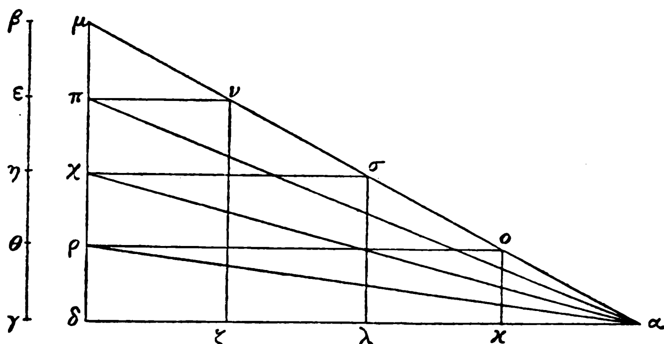


Fig. 33.

einen Keil an, dessen Winkel bei α ist, und sein Kopf sei die Linie $\delta\mu$. Der Schlag $\beta\gamma$ bewege ihn, und seine

لان القوّة فى هذا تكون معادلة للثقل المساوى لها ولنتوهّم ايضا ثقلا اخر على علامة ز̄ ولنربط عليه بكرة وهى بكرة ح̄ وندخل فى هذه البكرة قلسا ونشدّ طرفيه فى عارضة ثابتة حتى يتعلق ثقل ز̄ فيكون كلّ واحد من جزئَى الحبل الممدودين يقلّ نصف الثقل فان حلّ[1] احد طرف القلس المشدود على علامة لَ وقام[2] هو هناك يمسك القلس فانّه يكون يحمل نصف ذلك الثقل فيكون جميع الثقل ضعف القوّة التى تضبطه فيظهر من هاهنا انّ قوّة اخرى من العارضة الثابتة فى طرف الحبل المشدود معادلة للقوّة الماسكة للطرف الآخر تجتبذ الثقل ايضا فلذلك باستحقاق سمّيت هذه البكرة ذا رفعين فاذًا القلس المثنى المقسوم بقسمين ممدودين قد[3] يمكن ان يسمّى ذا رفع واحد وذا رفعين ومن هاهنا ظهر لنا انّه ينبغى ان يكون طرف القلس الآخر مرتبطا فى عارضة ثابتة لا فى الثقل الموضوع للرفع لأنّ قوّة ما من ذلك الركن الثابت تعادل القوّة المحرّكة وتعينها على حركة الثقل فقد ظهر[4] انّه اذا كان طرف القلس الواحد مرتبطا فى الحمل فان الحمل يعادل قوة مساوية له واذا كان طرفه الاخر مرتبطا فى عارضة ثابتة فانّ القوّة تعادل ضعفها من الثقل * فيتحرّك الثقل[5] بقوّة اقلّ من القوّة التى كانت تحرّكه اوّلا ⊙

1) B رجل 2) Codd. قام 3) Codd. وقد 4) B يظهر 5) B om.

einfachen Zug, weil die Kraft hierbei dem ihr gleichen Gewicht das Gleichgewicht hält.

Denken wir uns nun eine andre Last bei ζ und befestigen wir daran die Rolle η, ziehen über diese Rolle ein Seil und binden seine beiden Enden an einen festen Querbalken, sodafs die Last ζ schwebt, so hebt jeder von den beiden gespannten Teilen des Seiles das Gewicht der Hälfte der Last. Wenn nun jemand das eine bei ϰ angebundene Ende des Seiles löst und selbst dort stehen bleibt und das Seil festhält, so trägt er die Hälfte der Last, und die ganze Last ist das Doppelte von der Kraft, die sie festhält. Daraus erhellt, dafs von der festen Stütze am angebundenen Ende des Seiles aus eine andre Kraft, die der das andre Ende des Seiles haltenden äquivalent ist, die Last ebenfalls zieht. Deshalb nennt man mit Recht diese Rolle einen doppelten Zug. Folglich kann man das gefaltete und in zwei Teile geteilte und angespannte Seil einfachen und doppelten Zug nennen.

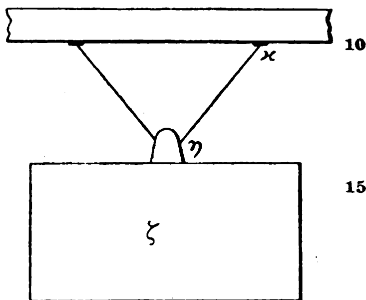


Fig. 32.

Daher ist nun klar, dafs das andre Ende des Seiles an einem festen Querbalken und nicht an der zum Heben gegebenen Last befestigt sein mufs, weil eine gewisse Kraft von jener festen Stütze aus der bewegenden Kraft das Gleichgewicht hält, und ihr beim Bewegen der Last hilft. Es ergiebt sich also, dafs die Last einer ihr gleichen Kraft das Gleichgewicht hält, wenn das eine Ende des Seiles an der Last angebunden ist; wenn aber das andre Ende an einer festen Querstütze angebracht ist, so hält die Kraft einer doppelt so grofsen Last das Gleichgewicht, und die Last läfst sich durch eine geringere Kraft als beim ersten Male bewegen.

القلوس التى تحركها القوّة المحرّكة فيكون ذلك مثلنا[1] إن كان الثقل خمسين قنطارا وكانت القوّة المحرّكة خمسة قناطير يحتاج ان تكون القلوس الممدودة التى تحمل الثقل عشرة امثال القلوس التى تمدّها قوّة خمسة قناطير لتكون القلوس الممدودة التى تحمل الثقل عشرة والقلس الذى عند القوّة المحرّكة واحد فان كانت القلوس التى تحمل الثقل عشرين قلسا كانت القلوس[2] التى عند القوة المحركة قلسين فعلى هذا تعادل القوّة الثقل فان اردنا ان تقوى القوّة على الثقل إمّا ان نزيد فى القوّة وإمّا ان نزيد فى القلوس التى تحمل الثقل فقد بيّن برهان البكر التى تسمّى الكثيرة الرفع ومن هنالك ظهر لنا انّه ممكن ان يحرّك الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة ⊙

[١٣] وقد يعرض فى عمل ما ان يسمّى القلس المثنّى الممدود مدّتين فقط مرّة ذا[3] رفع واحد ومرّة ذا[3] رفعين على قدر القوّة التى نستعملها فيه ومثال ذلك ان نفرض، بكرة على علامة آ عليها حبل وليكن جزءا الحبل الممدودان على علامتى بج وليكن ب ج مرتبطين بثقل ما وهو ثقل ه فان قسمنا هذا الثقل بنصفين يكون الجزءان اللذان فى الجهتين متعادلين وتسمّى هذه البكرة ذا رفع واحد

---

1) BC مثلا K مثلثا L s. p.   2) LK القوى   3) Codd. ذو

welches zieht, wie die Last zur (Gegen-)Last. Überhaupt mufs bei all diesen Lasten das Verhältnis der bekannten Last zu der sie bewegenden Kraft sein wie das Verhältnis der gespannten Seile, die die Last heben, zu den Seilen, welche die bewegende Kraft bewegt. Wenn z. B. die Last fünfzig Talente ist, und die bewegende Kraft fünf, so müssen die angespannten Seile, die die Last tragen, zehn mal so viel sein als die Seile, an welchen die Kraft von fünf Talenten zieht, so dafs die angespannten Seile, die die Last tragen, zehn sind, während das Seil an der bewegenden Kraft eins ist. Sind aber die Seile, die die Last tragen zwanzig, so sind die Seile an der bewegenden Kraft zwei. Unter diesen Bedingungen hält die Kraft der Last das Gleichgewicht. Soll aber die Kraft die Last aufwiegen, so vermehren wir entweder die Kraft oder die Seile, die die Last tragen. So ist also der Beweis für die Flaschenzug genannten Rollen geliefert, und wir ersehen daraus, dafs man eine bekannte Last mit einer bekannten Kraft bewegen kann.

18 Es kommt vor, dafs man bei einer Operation das gefaltete und nur in zwei Stränge gespannte Seil bald einfachen bald doppelten Zug nennt, je nach der Kraft, die wir dabei anwenden. Nehmen wir zum Beispiel dafür bei dem Punkt α eine Rolle an, über die ein Seil geht, und seien die beiden herabhängenden Teile des Seiles bei den Punkten β und γ, und seien β und γ an irgend einer Last angebunden, nämlich der Last ε. Wenn wir nun diese Last in zwei Hälften teilen, werden sich die beiden Teile auf beiden Seiten das Gleichgewicht halten; diese Rolle nennt man

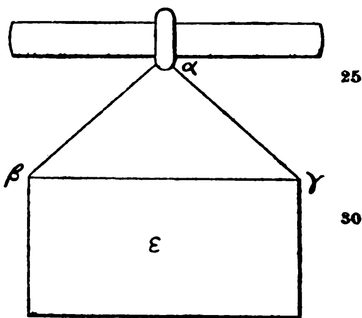


Fig. 31.

ركن ثابت يكون عند بكرة ا على علامة ح فيكون امتداد القلوس متساويا للعلّة التى وصفنا لان كلّ واحد منهما يمد ثلث الثقل فان قسم ثقل ز بثلاثة اقسام متساوية حتى يكون ما يلى منه جهة طب ضعف ج فان الثقل يسكن ولا يميل منه شىء الى جهة من الجهات فيكون الثقل المعلّق فى قلس ج معادلا للثقل المعلّق فى قلس د(1 وهو ضعف الجهة الاخرى فان نحن صيّرنا مكان ج التى هى ثلث الثقل قوّة معادلة للثقل تمسك القلس فان الثقل الباقى لا يقوى عليها وهى اقلّ منه وذلك ايضا ان نحن ادخلنا طرف القلس الذى عند ح فى بكرة تكون مشدودة عند ح ومددناه حتى نشدّ طرفه فى ثقل ز على علامة ك فانّ كل واحد من القلوس الممدودة(2 يقلّ ربع الثقل فان قسم الحمل ايضا قسمة اخرى حتى يكون ما يلى منه علامات طبج(3 ثلاثة امثال ما يلى علامة ك فانّ الثقل الذى عند علامة ك يعادل باقى الثقل وتكون نسبة عدد القلوس الممدودة التى تقلّ الثقل الى القلس الذى يجرّه(4 كنسبة الثقل الى الثقل فينبغى فى كلّيّة هذه الاثقال ان تكون نسبة الثقل المعلوم الى القوّة التى تحركه كنسبة القلوس الممدودة التى تقلّ الثقل الى

1) Codd. ده 2) LC om. 3) Codd. طبده 4) B يحركه LCK يجرّ

α zusammenhängt, gehen, nämlich zum Punkte η, so ist die Spannung der Stränge gleich, aus dem von uns angegebenen Grunde, weil jeder von ihnen ein Drittel der Last zieht. Wird nun die Last ζ in drei gleiche Teile geteilt, so dafs das nach $\vartheta\beta$ fallende Teil davon das Doppelte von γ ist, so ruht die Last, und nichts von ihr neigt sich nach irgend einer Seite, so dafs das am Strang γ aufgehängte Gewicht dem am Strang δ aufgehängten das Gleichgewicht hält, während letzteres das Doppelte

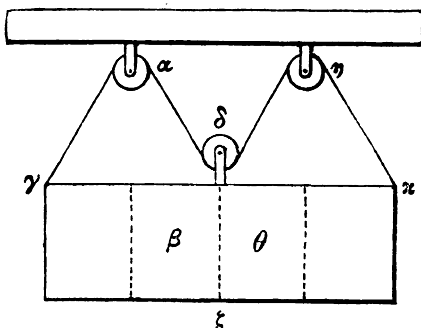


Fig. 30.

der anderen Seite ist. Wenn wir nun an Stelle von γ, d. i. dem dritten Teil der Last, eine dem Gewicht entsprechende Kraft anbringen, die das Seil festhält, so wird die übrige Last sie nicht aufwiegen, obwohl sie kleiner als jene ist. Ebenso verhält es sich, wenn wir das Ende des Seiles bei η über eine in η befestigte Rolle laufen lassen und es anziehen, bis sein Ende an der Last ζ im Punkte $\varkappa$ angebunden ist; denn jedes der Seile trägt den vierten Teil des Gewichtes der Last. Teilt man die Last abermals, so dafs das nach den Punkten $\vartheta\beta\gamma$ fallende Stück derselben das Dreifache des nach dem Punkt $\varkappa$ fallenden ist, so hält das Gewicht bei $\varkappa$ dem Rest der Last das Gleichgewicht, und es verhält sich die Anzahl der angespannten Seile, die die Last heben, zu dem Seile,

يكونان[1] ساكنين لان الثقل الذى يمدهما ثقل واحد وهو الذى كان يمدّهما اوّلا فيكون نصف الثقل معادلا للثقل المساوى * له ويكون ايضا الجزآن الممدودان من القلس متساويين من جهة اخرى لانّه قد علق اثقال متساوية فى خطوط متساوية[2] وذلك ان القلس الممدود يماسّ من قوس الفلكة نقطتين هما نظائر بعضها بعضا وبعدهما من المركز متساو والاثقال كأنّها معلقة بهاتين النقطتين ⊙ فعلى هذا العمل وبهذه الجهة ليس يعادل حمل ثقيل او ثقل عظيم قوة يسيرة ولذلك يسمى هذا الباب من الآلة التى تسمى كثيرة الرفع ذا[3] رفع واحد وهذا[4] الذى يسمّى ذا الرفع الواحد هو الذى القلس فيه ممدود مدّتين[5] ⊙

[١٢] فلنبيّن الان الذى هو ذو رفعين وهو الذى فيه من القلس ثلثة اجزاء ممدودة وعلى هذه الجهة كلّما تكاثر امتداد القلس وتكرّر انبساطه بعدّة ذلك التكرير تسمّى الآلة ذا[6] رفع بعدد نقصان واحد من عدد تكرير[7] انبساط القلس ليكون الاسم سميّا للعدد الذى هو اقلّ من ذلك العدد اعنى عدد تكرير القلس بواحد فلنتوهّم طرف القلس الذى عند د̅ داخلا فى بكرة نافذا منها الى

1) B om. 2) B om. 3) Codd. ذو 4) BCL وهو
5) L ممدودتين 6) Codd. ذو 7) L تكثر K كثير

Teile, so zeigt es sich, dafs die beiden herabhängenden Teile des Seiles in Ruhe verharren, weil die sie anspannende Kraft dieselbe ist, nämlich diejenige, die sie zuerst anspannte. Also hält die Hälfte der Last der ihr gleichen Last das Gleichgewicht. Die beiden herabhängenden Teile des Seiles sind noch unter einem anderen Gesichtspunkte gleich, weil gleiche Gewichte an gleichen Linien aufgehängt sind; denn das angespannte Seil berührt zwei Punkte des Rades, die einander entgegengesetzt sind und deren Entfernung vom Mittelpunkt dieselbe ist; so ist es, als seien die beiden Gewichte in diesen beiden Punkten aufgehängt.

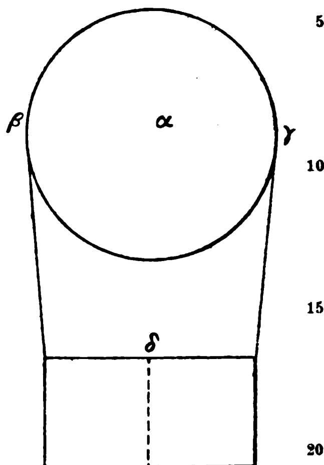


Fig. 29.

Bei diesem Verfahren und in dieser Weise hält eine schwere Last oder ein grofses Gewicht einer geringen Kraft nicht das Gleichgewicht, und deshalb nennt man diese Art des Flaschenzug genannten Werkzeuges einfachen Zug. Dieser sogenannte einfache Zug ist also derjenige, bei dem das Seil doppelt herabhängt.

12 Wir wollen jetzt den doppelten Zug erklären; das ist derjenige, bei dem drei Teile des Seiles gespannt sind. Auf gleiche Weise wird, je öfter man das Seil hin und wieder her spannt, nach der Zahl dieser Wiederholungen das Werkzeug als von so und so viel Zügen benannt, nachdem man von der Zahl der Wiederholung der Spannungen eins abgezogen, damit der Name die Zahl angebe, die um eins kleiner ist als jene Zahl, nämlich als die Zahl der Wiederholungen des Seiles. Denken wir uns nun das bei δ befindliche Ende des Seiles über eine Rolle laufen und nach einer festen Stütze, die mit der Rolle

[١٠] واما المحور المركّب فى الفلكة فانّه ليس شىء آخر الّا دائرتين على محور * واحد احداهما صغيرة وهى دائرة المحور[1] والاخرى كبيرة وهى دائرة الفلكة فلذلك[2] باستحقاق صار تعليق الثقل على المحور وصارت القوّة المحرّكة على الفلكة لأن بهذا العمل تقوى القوّة اليسيرة على ثقل عظيم وهذا القول قد قاله الذين كانوا قبلنا إلا انّا وضعناه[3] هاهنا ليكون كتابنا متمّما وليكون له ترتيب مؤلف ⊙

[١١] فلنقل الآن فى علّة الآلة التى تدعى كثيرة الرفع نفرض فلكة متعالية على علامة آ وعليها قلس سلاح وهو بج ونشدّ فى طرفى الحبل الممدودين ثقلا وهو د وليكن هذا الثقل متعاليا عن الارض فيظهر ان الجزئين الممتدّين من القلس امتدادهما متساو وكلّ واحد منهما ثقلّ[4] نصف ثقل د لان الجزئين الممتدين ان لم يكن الممدود منهما متساويا فانّ الذى هو منهما اكثر امتدادا يشيله اكثرهما ارتفاعا ولكنّا ليس نرى شيئًا من هذا لان كل واحد من الجزئين الممتدين من القلس ساكن فان نحن قسمنا ثقل[5] د بنصفين اعنى بجزئين متساويين يظهر لنا ان الجزئين من القلس الممدودين

1) B om. 2) BCL فذلك K فكذلك 3) Codd. وصفناها 4) Codd. ثقل 5) B om.

durch Gleichgewichtslage einträte) verteilen. Also nimmt die gedachte Ebene die Hälfte der Last weg. Wenn nun die Kraft bei β der Last $\varepsilon\eta\kappa\lambda$ das Gleichgewicht hält, so verhält sich also $\beta\delta$ zu $\delta\alpha$ wie die Last $\varepsilon\eta\kappa\lambda$ zur Kraft β; und es bedarf einer um so viel geringeren Kraft, als sich die Last von der Erde hebt. Diese Last nimmt schliefslich eine solche Lage ein, dafs sie überhaupt keiner Kraft bedarf, wenn nämlich die durch den Punkt ε gehende senkrechte Ebene die Last in zwei Hälften teilt.

Auch dieses Verfahren mit dem Hebel läfst sich auf den Kreis zurückführen; aber es ist nicht wie beim ersten Verfahren. Dafs sich die Wage ebenfalls auf den Kreis zurückführen läfst, ist klar, da ja der Kreis eine Wage ist.

10 Was nun die Welle mit dem Rade angeht, so ist sie nichts anderes als zwei Kreise um denselben Mittelpunkt, deren einer, nämlich der Kreis der Welle, klein, der andre, nämlich der des Rades, gröfser ist. Deshalb findet mit Recht das Aufhängen der Last an der Welle statt, und die bewegende Kraft befindet sich an dem Rade, weil bei diesem Verfahren die kleine Kraft eine grofse Last aufwiegt. Diesen Satz haben unsere Vorgänger schon ausgesprochen; wir haben ihn hierhergesetzt, damit unsere Schrift vollständig werde und eine wohlgeordnete Anlage habe.

11 Reden wir jetzt von der Begründung des Flaschenzug genannten Werkzeuges. Denken wir uns ein in der Höhe befindliches Rad bei dem Punkte α, um das ein Seil (Hoplon), nämlich $\beta\gamma$ geschlungen sei. An die beiden freien Enden des Seiles werde die Last, nämlich δ gebunden, die sich ebenfalls in der Höhe über dem Erdboden befinde. Dann ist klar, dafs die beiden herabhängenden Enden des Seiles gleichweit herabhängen und jedes von ihnen die Hälfte der Last δ trägt; denn von den herabhängenden Teilen würde, wenn das herabhängende Stück nicht gleich wäre, der höhere den länger herabhängenden hinaufziehen. Wir bemerken aber nichts davon, weil jedes von den beiden herabhängenden Enden des Seiles ruhig bleibt. Teilen wir nun die Last in zwei Hälften, d. i. in zwei gleiche

من الجهات لا الى جهة ط ولا الى جهة ح لمعادلة ثقلى هطز هحز احدهما للآخر فاذًا جزء الحمل الذى هو هحط ليس يحتاج الى قوّة بتّة فاذًا جزء الحمل الذى هو هحكل هو الذى يحرّكه المخل فلو كان مخل اب يحرّك جميع ثقل هطكل كانت نسبة بد الى دا كنسبة ثقل هطكل الى القوّة التى عند ب ولكنّه ليس يتحرّك كله وذلك انّ جزءا منه يضبطه السطح المفروض وذلك الجزء هو نصفه لانّ ذلك السطح لو لم نتوهّمه وزدنا فى القوة المحركة قدرا مساويا لذلك الفضل كانت القوة تندفع الى اسفل ويرتفع[1] طرف المخل الذى عند ا لانّ الاثقال تنقسم على القوى المحرّكة لها قسمة المساواة فاذًا السطح المفروض هو ياخذ نصف الثقل فاذًا ان كانت القوّة التى عند ب معادلة لثقل هحكل تكون نسبة بد الى دا كنسبة ثقل هحكل الى قوّة ب والقدر الذى يرتفع الحمل عن الارض بذلك القدر يحتاج من القوّة الى الاقلّ فيكون موضوعا وضعا لا يحتاج الى قوّة اذا كان السطح المخرج على علامة ه القائم على الافق يقسم الحمل بنصفين وهذا العمل بالمخل[2] منسوب الى الدائرة ولكنّه ليس على العمل الاوّل ⊙ واما ان يكون الميزان ايضا منسوبا الى الدائرة فذلك ظاهر لانّ الدائرة ميزان ما ⊙

1) Codd. om. 2) Codd. بالحمل

bleibt auf der Erde liegen. Denken wir uns nun eine Ebene senkrecht durch den Punkt ε gehen und es entstehe ein überragender Teil der Last, nämlich $\varepsilon\zeta\vartheta$. Diese Last $\varepsilon\zeta\vartheta$ sei im Gleichgewicht mit einem andern Teile, $\varepsilon\eta\zeta$. Denken wir uns nun dieses ganze Gewicht $\varepsilon\eta\vartheta$ von der Last getrennt, und an dem Platze, wo es sich befindet, aufgestellt, so wird es sich nach keiner Seite

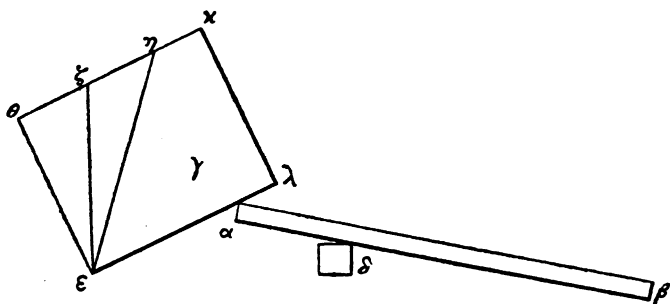


Fig. 28.

hin neigen, weder nach ϑ, noch nach η, weil sich die beiden Gewichte $\varepsilon\vartheta\zeta$ und $\varepsilon\eta\zeta$ einander das Gleichgewicht halten. Also bedarf der Teil $\varepsilon\eta\vartheta$ überhaupt keiner Kraft und folglich ist es nur der Teil $\varepsilon\eta\varkappa\lambda$ der Last, den der Hebel bewegt. Wenn der Hebel $\alpha\beta$ die ganze Last $\varepsilon\vartheta\varkappa\lambda$ bewegte, so verhielte sich $\beta\delta$ zu $\delta\alpha$ wie die Last $\varepsilon\vartheta\varkappa\lambda$ zur Kraft bei β; er bewegt sie aber nicht ganz, weil ein Teil der Last durch die angenommene (senkrechte) Ebene gehalten wird, und dieser Teil sei z. B. die Hälfte. Denken wir uns nämlich jene (senkrechte) Ebene nicht, so daſs das Ganze als Wage um den Punkt δ erscheint, und fügen der bewegenden Kraft einen jenem Überschuſs (der als Beispiel vorgenannten Hälfte der Last) gleichen Betrag hinzu, so wird die Kraft nach unten gedrückt, und das Hebelende bei α hebt sich, weil die Lasten sich auf die bewegenden Kräfte gleichmäſsig, (nicht proportional, wo-

القوّة فانّ القوّة تقوى على الثقل لانّهما دائرتان على مركز واحد والثقل هو على قوس من الدائرة الصغرى والقوّة المحرّكة على قوس من الدائرة العظمى فقد يظهر لنا انّه يعرض فى المخل العارض الذى عرض للدائرتين اللتين على مركز واحد فاذًا المخل المحرّك للثقيلات العلّة فيه هى العلّة التى عرضت للدائرتين ⊙

[٩] ولنفرض ايضا مخلا يكون خطّ اب يتحرّك على حجر تحت المخل وهو د وليكن احد طرفى المخل الذى هو علامة ا يكون تحت حمل ج والطرف الاخر يكون متعاليا عن الارض وهو على علامة ب فان نحن كبّسنا طرف المخل الذى هو على علامة ب الى ما يلى الارض كنّا قد حرّكنا ثقل ج فاقول إنّه لا يتحرّك بهذا العمل مثل ما تحرّك فى العمل الآخر لان فى هذا العمل بعض الثقل يتحرّك وبعضه يبقى ثابتا على الارض فلنتوهّم سطحا ما خارجا على علامة ه قائما على الافق وليكن فاضل من الثقل وهو[1] هزط * وليكن هذا الثقل الذى هو هزط معادلا للثقل الذى هو هزح[2] * فان توهّمنا[3] هذا الثقل الذى هو[4] جميع هحط مفصولا من الحمل موضوعا فى الموضع الذى هو فيه فانّه لا يميل الى جهة

1) L الذى هو 2) LCK om. 3) K وليكن 4) LCB add. من

sich die Last γ nach der anderen Seite. Dann beschreibt der Punkt β einen Kreis um den Mittelpunkt δ und der Punkt α um denselben Mittelpunkt einen kleineren Kreis, als den vom Punkte β beschriebenen. Wenn sich nun

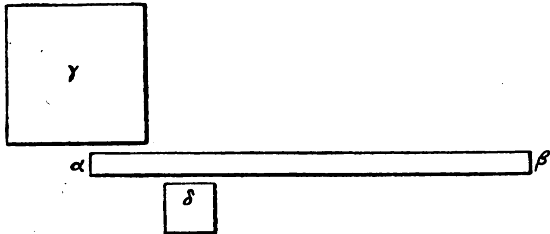


Fig. 27.

die Linie $\beta\delta$ zu $\delta\alpha$ verhält wie die Last γ zur Kraft bei β, so hält die Last γ der Kraft β das Gleichgewicht. Ist das Verhältnis $\beta\delta : \delta\alpha$ gröfser als das der Last zur Kraft, so hat die Kraft das Übergewicht über die Last, weil zwei Kreise um denselben Mittelpunkt vorhanden sind, und die Last sich am Bogen des kleineren Kreises, und die bewegende Kraft sich am Bogen des gröfseren befindet. Es ist also klar, dafs sich beim Hebel dieselbe Erscheinung zeigt, wie bei den zwei Kreisen um denselben Mittelpunkt. Also ist die Begründung für den Hebel, der Lasten bewegt, dieselbe wie die für die zwei Kreise vorgebrachte.

9 Nehmen wir nun einen anderen Hebel an, der die Linie $\alpha\beta$ sei und sich um ein Hypomochlion, nämlich δ, bewegen lasse. Das eine Ende des Hebels, nämlich der Punkt α, sei unter der Last γ, das andre erhaben über dem Erdboden, nämlich beim Punkte β. Wenn wir nun das bei β befindliche Ende des Hebels nach dem Boden zu herabdrücken, so haben wir die Last γ bewegt. Nun behaupte ich, dafs sie sich bei diesem Verfahren nicht so bewegt wie bei dem ersten. Denn bei diesem Verfahren bewegt sich ein Teil der Last, und der andere

برهانها(1 بعد هذا العمل فقد كان القدماء الذين كانوا قبلنا يقدّمون هذه المقدّمة فلنبيّن الآن ذلك اوّلا في الآلة التي تسمى المخل وهذا المخل يحرّك التقيلات(2 على ضربتين إمّا بان كان موضوعا وضعا يكون موازيا للارض او بان يكون متعاليا عن الارض* مائلا عليها فيكون العمل به بان يكبّس طرفه المتعالى عن الارض الى ما يلى الارض فلنفرضه(3 اولا موازيا للارض وليكن المخل خط اب وليكن الثقل الذى* يتحرّك بالمخل على علامة ا وهو ثقل(4 ج ولتكن القوة المحرّكة على علامة ب وليكن الحجر الذى تحت المخل الذى يتحرّك المخل عليه على علامة د وليكن بد اعظم من خطّ دا فاذا نحن رفعنا طرف المخل الذى علامة ب ونعالى المخل عن الحجر الذى يدور عليه فانّ الثقل الذى هو ج يتحرّك الى الجهة الاخرى فترسم علامة ب دائرة على مركز د وترسم علامة ا ايضا دائرة على هذا المركز اصغر من الدائرة التى ترسمها علامة ب فان كانت نسبة خطّ بد الى دا هى نسبة الثقل الذى هو ج الى القوّة التى عند ب فانّ ثقل ج يعادل قوّة ب وان كانت نسبة بد الى دا اعظم من نسبة الثقل الى

1) K براهينها   2) B الاشياء الثقال   L التقلات   K التقيلان   3) K om.   4) B يحركه طرف ا هو الثقل الذى عليه

wird es dem Gewicht ζ wieder das Gleichgewicht halten und es verhält sich dann die Last ϑ zur Last ζ, wie der Abstand $\beta\alpha$ zum Abstand $\alpha\varepsilon$ und wir denken uns so die Linie $\beta\varepsilon$ als Wage, die sich um einen Aufhängepunkt, nämlich den Punkt α, bewegen läſst. Dies hat Archimedes in seiner Schrift über das Ausgleichen der Neigung bewiesen. Hieraus erhellt, daſs es möglich ist eine gewaltige Gröſse durch eine kleine Kraft zu bewegen. Denn wenn man zwei Kreise um denselben Mittelpunkt hat, und die gröſsere Last an irgend einem Bogen des kleineren, die kleinere an einem Bogen des gröſseren sich befindet, das Verhältnis der vom Mittelpunkt des gröſseren Kreises ausgehenden Linie zu der vom Mittelpunkt des kleineren ausgehenden aber gröſser ist, als das Verhältnis der groſsen Last zur geringen Kraft, die sie bewegt, so wiegt die geringe Kraft die groſse Last auf.

8 Da wir dies nun an unserem Beispiel mit dem Kreis als richtig befunden haben, so wollen wir dasselbe jetzt für die fünf Potenzen zeigen, und, wenn wir dies gethan haben, ist auch der Beweis für dieselben geliefert. Schon die Alten, die vor uns waren, haben übrigens diese Einleitung ausgeführt. Beweisen wir es nun für das Hebel genannte Werkzeug.

Der Hebel bewegt schwere Gegenstände auf zweierlei Weise: entweder indem er in einer dem Erdboden parallelen Lage sich befindet, oder indem er sich von dem Erdboden erhebt und schief gegen denselben steht. Man gebraucht ihn, indem man das über dem Erdboden erhabene Ende desselben nach dem Boden zu herunterdrückt. Nehmen wir zuerst an, er sei dem Erdboden parallel. Der Hebel sei die Linie $\alpha\beta$ und die durch ihn zu bewegende Last, nämlich γ, bei dem Punkte α, die bewegende Kraft bei dem Punkte β, der Stein unter dem Hebel, auf dem sich derselbe bewegt, bei dem Punkte δ und sei $\beta\delta$ gröſser als die Linie $\delta\alpha$. Wenn wir nun das bei β befindliche Hebelende heben, so daſs sich der Hebelarm über den Stein, um den sich der Hebel dreht, erhebt, so bewegt

ب ج ثقلين متساويين وهما علامتنا ز ح فيظهر لنا ان الدوائر لا تميل الى جهة من الجهات لان ثقلى ز ح متساويان وبعدى ب ا ا ج متساويان فيكون ب ج عمود ميزان يتحرك على علاقة هى علامة ا فإن نقلنا الثقل الذى على ج فعلّقناه[1] على ه يميل الى ما[2] اسفل منحطّا ثقل ز ويدير الدوائر فاذا زدنا فى ثقل ط سيعادل ثقل ز وتكون نسبة ثقل ط الى ثقل ز كنسبة بعد ب ا الى بعد ا ه فنتوهّم خطّ ب ه ميزانا يتحرّك على علاقة هى علامة ا وذلك قد بيّنه ارشميدس فى كتابه فى مساواة الميل فيظهر من هاهنا انّه ممكن ان يحرّك عظم كبير بقوة يسيرة لانّه اذا كانت دائرتان على مركز واحد وكان الثقل الكبير على قوس ما من الدائرة * الصغيرة والقوّة اليسيرة على قوس ما من الدائرة[3] العظيمة وكانت نسبة الخطّ الخارج من مركز الكبيرة الى الخطّ الخارج من مركز الصغيرة اعظم من نسبة الثقل الكبير الى القوة اليسيرة التى تحرّكه فإنّ القوّة اليسيرة تقوى على الثقل الكبير[4] ⊙

[٨] فاذا كان قد صحّ لنا هذا فى تمثيلنا فى الدائرة فانّا نريد ان نبيّن ذلك فى هذه[5] الخمس قوى ونوضح

---

1) L om. 2) BCL om. 3) LCK om. 4) B add. لان نسبة خطّ (الخطّ l.) الخارج من مركز العظمى الى مركز الصغرى كنسبة الثقل المحرك الى القوة المحرّكة ⊙ 5) K هذا

um darin Speichen anzubringen, mit denen wir die Schraube drehen. Wenn wir mit diesem Werkzeug irgend eine Last heben wollen, so binden wir die an der Last befestigten Seile zu beiden Seiten des Rades an die Welle. Dann drehen wir die Schraube, in welche wir die Zähne des Rades eingreifen liefsen, so wird sich das Rad mit der Welle drehen und jene Last sich heben.

7 Die Herstellung der vorher beschriebenen fünf Potenzen und ihre Anwendung haben wir eben dargelegt und erläutert. Den Grund, weshalb jede von diesen Maschinen grofse Lasten durch eine geringe Kraft bewegt, wollen wir jetzt auseinandersetzen, wie folgt. Denken wir uns zwei Kreise um denselben Mittelpunkt, nämlich den Punkt α, deren beide Durchmesser die Linien $\beta\gamma$ und $\delta\varepsilon$ seien. Die beiden Kreise mögen um den Punkt α, ihren Mittelpunkt, beweglich sein, und dieselben mögen senkrecht auf dem Horizont stehen. Hängen wir nun in den beiden Punkten β und γ gleiche Gewichte, nämlich η und ζ auf, so ist klar, dafs die Kreise

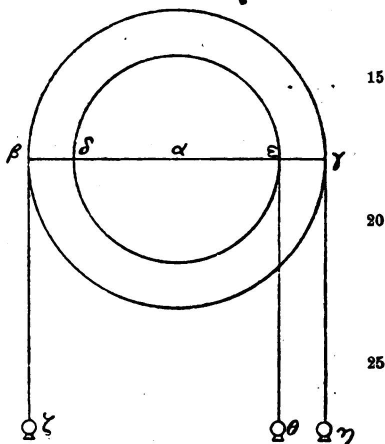


Fig. 26.

sich nicht nach irgend einer Seite neigen, weil die Gewichte ζ und η gleich, und die Abstände $\beta\alpha$ und $\alpha\gamma$ ebenfalls gleich sind, so dafs $\beta\gamma$ ein Wagebalken ist, der sich um einen Aufhängepunkt, nämlich den Punkt α, bewegen läfst. Wenn wir nun das Gewicht bei γ verschieben und es in ε aufhängen, so wird sich die Last ζ nach unten senken und die Kreise in Drehung versetzen. Wenn wir aber das Gewicht ϑ vermehren,

قوّة اخرى وهى التى تفعل بالمحور الذى عليه فلكة مركّبة فهى[1] تكون على هذه الجهة نتوهّم للفلكة التى على المحور اوتادا ولولب ما محاذى الفلكة إمّا قائم على الارض وإمّا موازٍ لسطح الارض ولتكن الاوتاد مركبة فى الحفر اللولبىّ واطراف اللولب تكون فى ثقبين مستديرين من ركنين ثابتين[2] على ما وصفنا فيما تقدم وليكن طرف اللولب فيه فضل خارج عن الركن الثابت مركّب[3] فيه مربعة ذات مقابض او نثقب فى ذلك الفضل الخارج ثقبا لنركّب فيها اوتادا ندوّر اللولب بها فاذا اردنا ان نرفع ثقلا ما بهذه الآلة نشدّ القلوس المرتبطة بالحمل على المحور من جنبتى الفلكة ونديرِ اللولب الذى قد ركّبنا فيه اوتاد الفلكة فتدور الفلكة والمحور ويستقلّ ذلك الثقل ⊙

[٧] امّا[4] صنعة الخمس قوى التى تقدّم وصفها والعمل بها فقد اتينا على ذكره وشرحه وامّا العلّة التى بها صارت كل واحدة من هذه الآلات تحرّك اثقالا عظاما بقوّة يسيرة فانّا الآن نخبّر به هكذا ⊙ نفرض دائرتين على مركز واحد وهو علامة آ وليكن قطراهما خطّى بج ده ولتكن الدائرتان متحرّكتين على علامة آ التى هى مركزهما ولتكن الدائرتان قائمتين على الافق ولنعلق على علامتى

1) Codd. وهى   2) K قائمين   3) Codd. المركّب
4) Codd. add. عمل

oder parallel zur Erdebene. Die Zähne sollen in das Schraubengewinde eingreifen und die Enden der Schraube in zwei runden Löchern in zwei festen Stützen, wie vor-

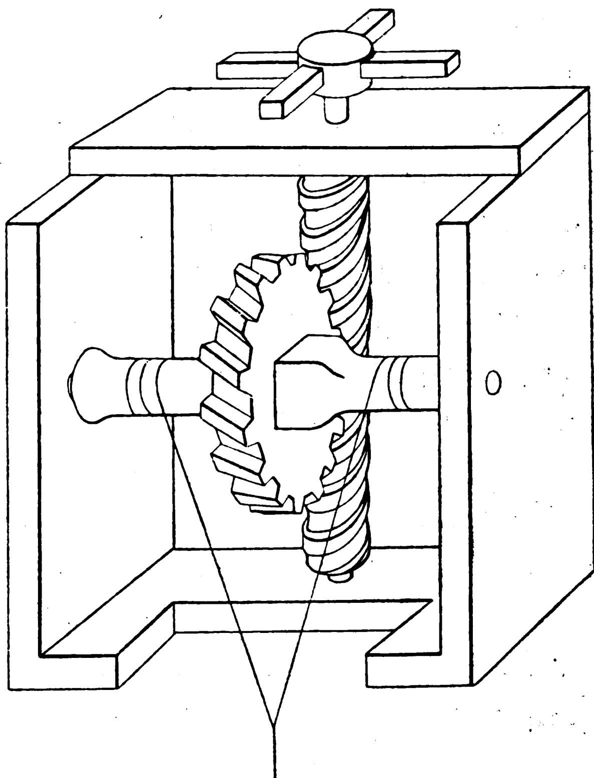


Fig. 25.

her beschrieben, liegen. Am einen Ende der Schraube befinde sich ein über die feste Stütze hinausragender Fortsatz, worauf ein Viereck mit Handhaben befestigt ist, oder wir bohren in diesen überragenden Fortsatz Löcher,

فى حفر اللولب وطرفه الاخر فى حفر القانون فاذا اردنا ان نرفع[1] حملا ثقيلا بهذه الآلة نأخذ قلسا من القلوس التى تسمّى سلاح ونشدّ احد طرفيه فى الحمل الذى نريد ان نرفعه والآخر فى العود الذى يسمّى طولس ونكون قد ثقبنا فى طرف اللولب ثقبا مخالفة[2] فنركّب[3] فى هذه الثقب اوتادا وندير اللولب بهذه الاوتاد[4] فيرتفع هذا الطولس بحركته فى الحفر الذى فى اللولب ويرتفع بارتفاعه الحبل فيقلّ[5] الثقل المرتبط فيه[6] وقد يمكنّا ان نركّب[7] بدل الاوتاد مربعة ذات مقابض فى طرف اللولب الخارج عن الركن الثابت فندير اللولب بهذه المربّعة ويرتفع الحمل فامّا الحفر اللولبىّ الذى يكون على الاسطوانة فانّه ربّما كان مربعا وربّما كان عدسيّا فامّا المربّع فهو القائم الحفر الذى ينتهى حفره الى خطّين وامّا العدسىّ فهو الذى حفره مائل وينتهى الى خط واحد فيسمّى هذا عدسيّا والاخر يسمى مربّعا ⊙

[٦] فاللولب اذا كان يستعمل مفردا وحده فعلى هذه الجهة يستعمل وامّا إن استعمل استعمالا آخر بمشاركته

---

1) Codd. ندير 2) K مخالفا 3) K لنركّب 4) K فيكون قد تحرك بقوة الآلة 5) K فينتقل 6) B add. اقلّ من القوة الموازية له 7) Codd. add. فى طرف اللولب

mit einer glatten Rundung, und fügen sie in runde Löcher in festen Stützen, so dafs sie sich in diesen Löchern leicht drehen läfst. Dann bringt man das Kanon genannte Holz senkrecht und parallel zum Holz der Schraube an. In diesem Kanon befinde sich eine tiefe kanalartige Rinne, die sich auf der, der Schraube zugewandten Seite des Holzes zeigt. Dann bringen wir die eine Seite des Tylos genannten Holzes in die Rinne der Schraube, die andre in die Rinne des Kanon. Wenn wir nun mit diesem Werkzeug eine schwere Last heben wollen, nehmen wir eins von den Hoplon genannten Seilen, binden sein eines Ende an der Last, die wir bewegen wollen, fest, das andre an dem Tylos genannten Holze, nachdem wir das Ende der Schraube mit einander entgegengesetzten Löchern durchbohrt haben. Nun fügen wir in diese Löcher Speichen und drehen mittels derselben die Schraube, so hebt sich der Tylos, durch seine Bewegung in der Rinne, die in der Schraube ist, und zugleich mit ihm hebt sich der Strick und hebt die an ihm befestigte Last in die Höhe.

Statt der Speichen können wir an dem aufserhalb der festen Stütze befindlichen Ende der Schraube ein mit Handhaben versehenes Viereck anbringen, mit Hilfe dessen wir die Schraube drehen und die Last sich hebt.

Die Schraubenrinne, die sich auf dem Cylinder befindet, ist manchmal viereckig und manchmal linsenförmig. Die viereckige ist diejenige mit senkrechten Einschnitten, deren Grube in zwei Linien endigt, die linsenförmige diejenige, deren Einschnitte geneigt sind, und die nur in einer Linie endigen. Diese Schraube wird linsenförmig, die andre viereckig genannt.

6 Wird die Schraube für sich allein angewendet, so geschieht es in dieser Weise. Benutzt man sie aber anders, in Verbindung mit einer anderen Kraft, nämlich der durch die Welle mit aufgesetztem Rade wirksamen, so geschieht es in folgender Weise. Denken wir uns an dem Rade auf der Welle Zähne, während eine Schraube dem Rade gegenübersteht, entweder senkrecht zur Erde

المساوى لضلع الاسطوانة على ضلع الاسطوانة والخطّ المساوى لدائرة قاعدة الاسطوانة على دائرة قاعدة الاسطوانة فانّ الخطّ الموتّر للزاوية القائمة يلتفّ على بسيط الاسطوانة فتكون عليه دائرة لولبية وقد يمكنّا ان نقسم ضلع الاسطوانة فى الاجزاء المتساوية بكم اردنا ونرسم على كلّ جزء منها دائرة لولبية فتكون على الاسطوانة دوائر كثيرة لولبيّة وتكون الاسطوانة لولبا وتسمّى الاسطوانة التى قد التفّ عليها وتر زاوية واحدة([1] لولبا ذا دورة واحدة اعنى اذا كان ضلع الاسطوانة لايحيط الا بخطّ واحد يبتدى من احدى نهايتيه وينتهى الى الاخرى فاذا اردنا استعمال اللولب حفرنا على هذا الخطّ الملتف على الاسطوانة حفرا عميقا([2] يصل الى قعر الاسطوانة حتى يمكنّا ان نركّب فى ذلك الحفر الخشبة التى تسمى طولس ثم نستعمل اللولب على هذه الجهة ندير طرفيه تدويرا مملّسا([3] ونركّبهما فى ثقب مستديرة من اركان ثابتة ليكون تدويره فى تلك الثقب سلسا ونركّب الخشبة التى تسمى قانون قائمة موازية لخشبة اللولب وليكن فى هذا القانون حفر ميزابىّ عميق ظاهر([4] فى بسيط الخشبة فى الجهة التى تلى اللولب ثم نركّب طرف العود الذى يسمّى طولس

---

1) LC om. 2) L om. 3) Codd. مليسا et ملسا
4) K om.

zu einer Schraube wird. Der Cylinder, auf dem eine Hypotenuse aufgewickelt wurde, heifst Schraube mit einer Windung, wenn nämlich die Cylinderseite nur eine Linie umfafst, die an seinem einen Ende beginnt und zum anderen reicht.

Wenn wir nun die Schraube gebrauchen wollen, so schneiden wir nach dieser auf dem Cylinder gezogenen

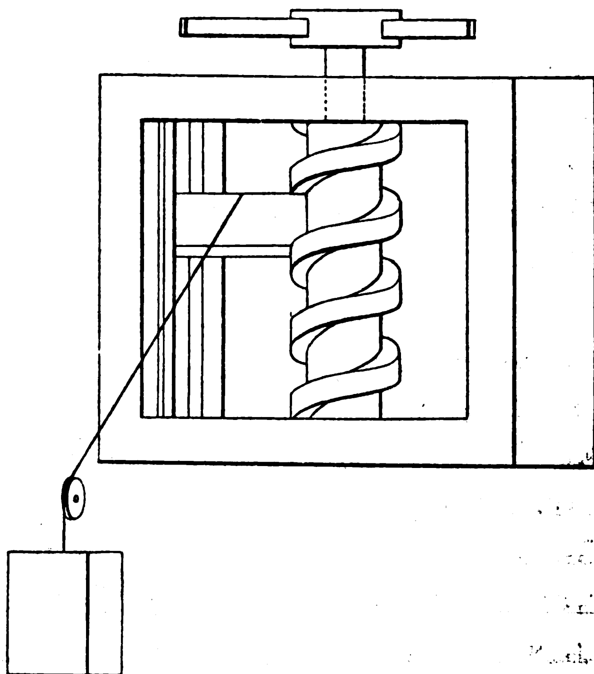


Fig. 24.

Linie eine tiefe Rinne ein, die in den Grund des Cylinders so weit eindringt, dafs wir in dieselbe das Tylos genannte Holz einfügen können. Dann benutzen wir die Schraube in folgender Weise. Wir versehen ihre beiden Enden

[ه] القوّة الخامسة وهى التى تسمّى اللولب(1) امّا الآلات التى ذكرنا فانّ معانيها ظاهرة تتمّ بذاتها وذلك ظاهر لنا فى اشياء كثيرة من استعمالاتها فاما اللولب فان فى عمله واستعماله صعوبة كان هو الذى يعمل وحده اوكان قوّة اخرى تعمل معه إلّا انّه ليس بشىء آخر إلّا اسفين ملتو لا يناله ضرب بل يتحرّك بالمخل وذلك يتبيّن بما نحن ذاكرون فنقول انّ طبيعة الخطّ المرسوم عليه هى هذه اذا فرض ضلع من اضلاع شكل اسطوانىّ متحرك على بسيط الاسطوانة وفرضت نقطة ما فى نهاية ذلك الضلع تتحرّك على الضلع وتنفذ عليه كلّه فى الزمان الذى يدور الضلع على(2 بسيط الشكل الاسطوانىّ كلّه دورة واحدة ويرجع الى الموضع الذى منه ابتدأت(3 تتحرّك فانّ الخطّ الذى ترسمه تلك النقطة على بسيط الشكل الاسطوانىّ يكون دائرة لولبيّة وهى التى تسمّى اللولب فاذا اردنا ان نرسم هذا الخطّ على بسيط الاسطوانة فانّا نستعمل هذا العمل انّا اذا فرضنا على سطح ما خطّين احدهما قائم على الاخر على زاوية قائمة كان احد الخطين مساويا لضلع الاسطوانة والآخر مساويا لدائرة الاسطوانة اعنى دائرة قاعدتها ووصلنا طرفى الخطّين المحيطين(4 بالزاوية القائمة بخطّ يوتّر الزاوية القائمة ثمّ ركّبنا الخطّ

---

1) B om. 2) Codd. om. 3) BCL ابتدأ 4) Codd. om.

5 Die fünfte Potenz. Das ist diejenige, die Schraube genannt wird. Die Prinzipien der bis jetzt erwähnten Werkzeuge sind klar und in sich selbst vollkommen. Bei der Wirkung und Anwendung der Schraube aber besteht eine Schwierigkeit, mag sie nun für sich allein oder eine andre Kraft mit ihr zusammen wirken. Sie ist aber nur ein gewundener Keil, den man aber nicht schlagen kann, sondern der mittels des Hebels bewegt wird. Das wird aus dem noch zu Erwähnenden klar werden.

Wir sagen nun, dafs die Natur der um sie beschriebenen Linie folgende ist: Nimmt man irgend eine Seite eines sich auf einer Ebene bewegenden Cylinders an, und an dem Ende dieser Seite einen Punkt, der sich auf derselben bewegt und sie ganz durchläuft, in derselben Zeit, in welcher jene Seite die Oberfläche des Cylinders einmal umkreist, und zu dem Orte, von dem sie sich zu bewegen angefangen hat, zurückkehrt, so ist die Linie, welche jener Punkt auf der Oberfläche des Cylinders beschreibt, eine Schraubenwindung, die man Schraube nennt. Wenn wir diese Linie auf der Oberfläche eines Cylinders beschreiben wollen, so verfahren wir hierbei also: Wenn wir in einer Ebene zwei Linien annehmen, deren eine auf der anderen senkrecht steht, und deren eine gleich der Seite des Cylinders, die andre gleich dem Kreis des Cylinders d. h. gleich dem Kreis seiner Grundfläche ist, wenn wir ferner die Endpunkte der den rechten Winkel einschliefsenden Linie verbinden, dann die der Seite des Cylinders gleiche Linie auf die Seite des Cylinders, und die dem Kreis der Grundfläche des Cylinders gleiche Linie auf diesen legen, so wickelt sich die dem rechten Winkel gegenüberliegende Seite auf der Oberfläche des Cylinders auf und es entsteht darauf eine Schraubenwindung. Wir können auch die Seite des Cylinders in beliebig viele gleiche Teile teilen und auf jedem von ihnen eine Schraubenwindung beschreiben, so dafs auf dem Cylinder viele Windungen entstehen, und der Cylinder

تركّب البكر(1 على المحور تركيبا لا يمكن بعضها يلاقى بعضا لانّها اذا تلاقت صعب تدويرها فامّا لِمَا(2 اذا(3 صارت الزيادة فى البكر نزيد فى سهولة الرفع ولِمَ صار طرف القلس يربط فى العارضة الثابتة فانّا سنخبّر به(4 فيما بعد هذا ⊙

[۴] القوّة الرابعة فامّا القوّة الرابعة التى تتلو هذه فانّها القوّة التى تدعى(5 بالإسفين(6 وهى تستعمل فى بعض آلات الطيب وفى الصاق(7 ما جلّ من اعمال التجارة وكثيرة(8 اعمالها واكثر استعمالنا لها اذا اردنا ان نفرى(9 اسفل الحجر الذى نريد ان نقطعه وقد فصلنا جوانبه من الجبل الذى نقطعه منه فانّ فى هذا الباب ليس يعمل شىء من تلك القوى الاخر فلا لو اجتمعت(10 كلّها فامّا الإسفين فانّه وحده يفعل فى(11 ذلك وفعله بالضربة التى تناله اى ضربة كانت وليس يبطل من فعله بعد سكون الضربة وذلك ظاهر لنا انّه بلا ان يضرب كثيرا ما يكون له صوت وقلع لما يشقّ بقوته(12 وكلما كانت زاوية الاسفين اصغر فان العمل به يكون اسهل كما سنبيّن ⊙

1) L om. 2) BCL om. 3) K om. 4) BCL سنجربه K نستخبر 5) K تكون 6) K الاسفين 7) LCK لزق 8) Codd. ولتكن 9) K نبرى 10) BCL جمعت 11) K om. 12) K لقوته

uns die Leichtigkeit jene Last zu heben. Je zahlreicher die Rollen, auf denen das Seil läuft, sind, desto leichter läſst sich jene Last heben. Das eine Ende des Seiles muſs an dem festen Querbalken fest gebunden sein, und das Seil von diesem nach der Last laufen. Die Rollen an dem festen Querbalken müssen auf einem anderen Holz festsitzen und sich um dieselbe Achse drehen. Diese Achse nennt man Manganon. Das Holz wird mittels andrer Seile an dem festen Querbalken befestigt. Die Rollen an der Last sitzen auf einer anderen, jener ersten gleichen und an der Last befestigten Achse. Die Rollen müssen so auf der Achse angebracht sein, daſs sie einander nicht berühren können; denn wenn sie sich berühren können, ist ihre Drehung erschwert. Warum sich nun die Leichtigkeit beim Heben für uns erhöht, wenn die Rollen vermehrt werden und warum das eine Ende des Seiles an dem Querbalken angebunden ist, werden wir später auseinandersetzen.

4 Die vierte Potenz. Die vierte Potenz, die auf diese folgt, ist diejenige, die Keil genannt wird. Sie wird bei manchen Werkzeugen der Parfumbereitung gebraucht und um getrennte Teile von Zimmermannsarbeiten zusammenzufügen. Ihre Anwendungen sind vielerlei; am häufigsten aber gebrauchen wir sie, wenn wir den untersten Teil von Steinen, die wir brechen wollen, zu spalten beabsichtigen, nachdem wir bereits die Seitenteile von dem Berge, von dem wir sie absprengen wollen, losgetrennt haben. Hierbei wirkt keine der übrigen Kräfte, auch nicht, wenn sie alle vereinigt würden. Der Keil aber wirkt hierbei ganz allein. Seine Wirkung beruht auf dem Schlag, der ihn trifft, wie immer der Schlag geartet sein mag, und seine Wirkung hört auch nicht nach Aufhören des Schlages auf. Das ist klar; denn häufig entsteht durch ihn ein Geräusch, ohne daſs er geschlagen wird, und ein Bersten dessen, was er mit seiner Kraft spaltet. Je spitzer der Winkel des Keiles ist, desto leichter ist mit ihm zu arbeiten, wie wir zeigen werden.

طرفيها فى عارضة ثابتة وادخلنا الطرف الآخر فى بكرة مشدودة فى وسط الحمل ومددنا القلوس كان تحريكنا لذلك الثقل اسهل وإن نحن ربطنا فى العارضة الثابتة بكرة أخرى وادخلنا طرف القلس فيها ومددناه كان تحريكنا لذلك الثقل اكثر سهولة وايضا ان نحن شددنا على ذلك الثقل بكرة اخرى وادخلنا طرف الحبل فيها زادنا ذلك سهولة فى حركة الثقل وعلى هذا العمل كلّما زدنا فى العارضة الثابتة من البكر وفى الثقل الذى نريد ان نحمله وادخلنا احد طرفى القلس فى البكرة* التى فى العارضة[1] الثابتة وفى البكرة[2] المرتبطة على الحمل وصيّرنا مجرى القلوس يمتدّ اليه زدنا فى سهولة رفع ذلك الثقل وكلّما تكاثرت البكر التى تجرى عليها القلوس كان اسهل لرفع ذلك الثقل وينبغى ان يكون طرف القلس الواحد ثابتا مشدودا فى العارضة الثابتة ويكون القلس يجرى منها الى الثقل فامّا البكر التى فى العارضة الثابتة فانّه ينبغى ان تكون مشدودة على خشبة اخرى وتكون دائرة على محور واحد ويدعى ذلك المحور منغنن وتكون تلك الخشبة مشدودة على العارضة الثابتة بقلوس أخر وامّا البكر المشدودة على الحمل فانّها تكون على محور آخر مساو لذلك المحور مربوط بالحمل وقد يجب ان

1) LCK om. 2) LCK om.

Wenn wir nun an dem festen Querbalken eine andre Rolle befestigen, das Ende des Seiles darüber legen und es anziehen, so ist die Bewegung der Last für uns noch leichter. Wenn wir ferner an jener Last eine zweite Rolle anbringen, und das Ende des Seiles darüberziehen, so ver-

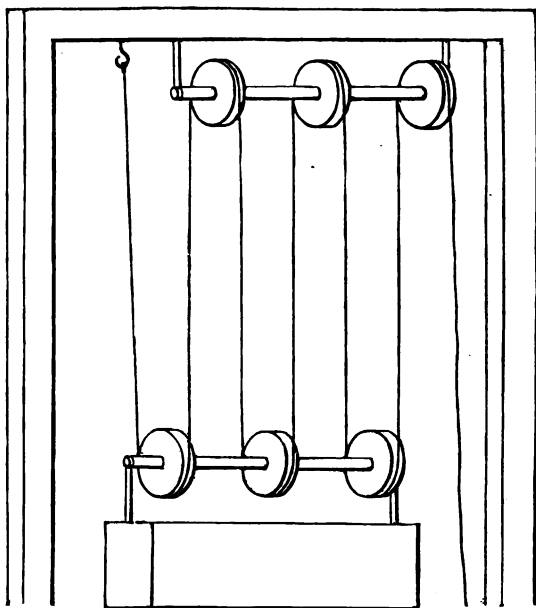


Fig. 23.

mehrt uns dies noch die Leichtigkeit bei Bewegung der Last. Auf diese Weise fahren wir fort an dem festen Querbalken und an der Last, die wir heben wollen, Rollen anzubringen und das eine Ende des Seiles über die an dem festen Querbalken und über die an der Last angebundene Rolle zu legen, und lassen das Seil immer wieder zu ihr zurücklaufen, so erhöht sich hierdurch für

المخل ولعل هذه القوّة هى اوّل ما فكر فيه فى حركة الاجسام المفرطة الثقل لانّ قوما لمّا ارادوا ان يحرّكوا جسما ثقيلا مفرط الثقل من اجل ان اوّل ما احتاجوا اليه فى حركته ان يقلّوه عن الارض ولم تكن لهم مقابض يقبضونها منه لانّ جميع اجزاء القاعدة[1] تكون على الارض احتاجوا الى ان احتالوا فى ذلك فحفروا تحت الجسم الثقيل فى الارض حفرا يسيرا واخذوا عودا طويلا فادخلوا طرفه فى ذلك الحفر وكبسوا الطرف الآخر فاستقلّ الثقل ثم وضعوا تحت هذا العود حجرا سمّوه ابومخليون وتاويله الموضوع تحت المخل وكبسوه ايضا فاستقلّ الثقل[2] اكثر فلمّا ظهرت هذه القوّة علّمت أنّه قد يمكن ان تحرّك بهذه الجهة اثقال عظيمة وهذا العود يسمى مخلا مدورا كان او مربعا وكلما قرّب الحجر الذى يوضع تحته من الثقل الذى يحرّك كان اهون لحركته على ما سنبيّنه فيما يستأنف ⊙

[٣] القوّة الثالثة فامّا القوّة الثالثة فانّها التى تدعى الكثيرة الرفع فانّا اذا اردنا ان نرفع ثقلا اى ثقل كان ربطنا القلوس فى ذلك الثقل واردنا ان نمدّ القلوس حتى نرفعه ويحتاج فى ذلك الى قوّة موازية للثقل الذى نريد ان نرفعه فان نحن حللنا القلوس من الحمل وربطنا احد

1) Codd. قاعدة 2) K add. ايضا

damit sie sich nicht ganz auf die Achse aufwickeln. Die Gröſse dieser Maschine muſs nach Maſsgabe der Gröſse der Last, die man damit bewegen will, eingerichtet werden. Ihre Berechnung muſs gemäſs dem Verhältnis der Last, die man bewegen will, zu der Kraft, die sie bewegen soll, stattfinden, wie wir es im Folgenden darthun werden.

2 Die zweite Potenz. Die zweite Potenz ist diejenige, die Hebel genannt wird, und diese Potenz ist vielleicht das Erste, woran man bei Bewegung von übermäſsig schweren Körpern dachte. Denn da das Erste, was man notwendig hatte, wenn man einen Körper von übergroſsem Gewicht bewegen wollte, war, daſs man ihn bei seiner Bewegung von der Erde erhob, man aber keine Handhaben daran hatte, um ihn anzufassen, da alle Teile seiner Grundfläche auf der Erde lagen, so verfiel man notwendigerweise auf dieses Verfahren, machte unter dem schweren Körper in dem Boden eine kleine Grube, nahm ein langes Holz, brachte das eine Ende desselben in jene Grube und drückte das andre nieder; so hob sich die Last. Dann legte man unter jenes Holz einen Stein, den man Hypomochlion d. i. das unter den Hebel Gelegte nannte und drückte ihn wieder nieder, sodaſs sich die Last noch mehr hob. Als diese Potenz bekannt wurde, begriff man, daſs es möglich sei in dieser Weise groſse Lasten zu bewegen. Dieses Holz nennt man Hebel, mag es rund oder viereckig sein. Je näher man den Stein, den man unter ihn legt, an die Last bringt, desto bequemer ist es für ihre Bewegung, wie wir es im Folgenden zeigen werden.

3 Die dritte Potenz. Die dritte Potenz ist diejenige, die Flaschenzug heiſst. Wenn wir nämlich eine beliebige Last heben wollen, so binden wir Seile an diese Last und wollen die Seile anziehen, bis wir dieselbe heben. Dazu bedürfen wir einer der zu hebenden Last gleichen Kraft. Wenn wir aber das Seil von der Last los lösen, sein eines Ende an einem festen Querbalken anbinden, das andre über eine mitten an der Last befestigte Rolle legen, und das Seil anziehen, ist es leichter jene Last zu bewegen.

والمحور معا وهذه الفلكة تسمى برطركين[1] وتاويله المحيطة فاذا فعلنا ذلك فرضنا فى المحور عن جنبى الفلكة* فرضا متعكشا[2] ليكون ذلك العرض ملفّة تلتفّ القلوس عليها ونثقب فى ظاهر الفلكة[3] اعنى فى محيطها ثقبا تكون فى كثرتها على قدر ما يدعو الحاجة اليه ولتكن مهندمة حتى تكون اذا ركّبت فيها اوتاد تدور بتلك الاوتاد الفلكة والمحور ⊙ وقد بيّنّا كيف ينبغى ان يعمل المحور فامّا العمل به فالآن نشرحه اذا اردت ان تحرّك ثقلا عظيما بقوّة اقلّ منه تشدّ القلوس المرتبطة فى الثقل فى الموضع المفروض من المحور عن جنبى الفلكة* ثم تركّب فى الثقب التى ثقبنا فى الفلكة اوتادًا وتكبّس الاوتاد فى جهة الانخفاض حتى تدير الفلكة[4] فيتحرّك الثقل بقوّة يسيرة وتلتف القلوس على المحور او نركّب بعضها بعضا لان لا تلتفّ جميعا على المحور وينبغى ان يكون عظم هذه الآلة على قدر عظم الاجسام التى تريد ان تنقلها بها وامّا[5] تقديرها فينبغى ان يكون على قدر نسبة الثقل الذى نريد حركته الى القوّة التى تحرّكه وذلك سنبيّنه فيما يستأنف ⊙

[٢] القوّة الثانية فامّا القوة الثانية فانّها التى تدعى

1) Codd. بريطيطس 2) K om. 3) B نقطتين LC هفطسا
4) B om. 5) BCL add. فى

Seiten des Rades eine lockenartige Nute, damit dieselbe eine Winde sei, auf welcher sich die Seile aufwickeln. Dann machen wir auf der Stirnseite des Rades, d. i. auf

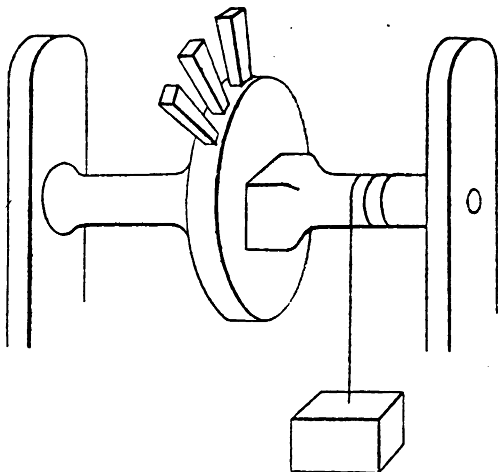


Fig. 22.

seinem Umfange, Löcher, deren Anzahl sich nach dem Bedürfnis richtet, die gleichmäſsig gearbeitet sind, sodaſs, wenn man Speichen darin anbringt, durch diese Speichen das Rad und die Rolle in Umdrehung versetzt werden.

Wir haben nun auseinandergesetzt, wie man die Achse konstruieren muſs; wie man damit arbeitet, werden wir jetzt darlegen.

Wenn man eine groſse Last mit einer kleinen Kraft bewegen will, befestigt man die an der Last angebundenen Stricke an dem auf der Achse zu beiden Seiten des Rades ausgenuteten Platze. Dann steckt man in die im Rade gebohrten Löcher Speichen und drückt die Speichen nach unten, sodaſs sich das Rad dreht, die Last sich durch die kleine Kraft bewegen läſst, und die Seile sich um die Achse aufwickeln, oder wir schichten sie aufeinander auf,

بسم الله الرحمن الرحيم

المقالة الثانية من كتاب ايرن فى رفع الاشياء الثقيلة

[ا] انّه لمّا كانت القوى التى تحرك بها الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة خمسا يجب باضطرار ان نضع اشكالها واستعمالاتها واسماءها لان هذه القوى منسوبة الى طبيعة واحدة وهى مختلفة فى اشكالها اختلافا كثيرا فامّا اسماؤها فهى هذه ⊙ محور داخل فى فلكة ⊙ مخل ⊙ بكرة ⊙ إسفين ⊙ لولب ⊙ أمّا المحور المركّب فى فلكة فانّه يعمل على هذه الصنعة يؤخذ عود صلب مربّع فى هيئة الخشبة فتملس اطرافه ويدوّر وتركّب عليها سرنجات من نحاس مهندمة لا يجوز غلظ المحور لتكون اذا ركبت فى ثقب مستديرة ملبّسة نحاسا فى[1] ركن ثابت غير متحرك تدور تدويرا سهلا فهذا العود اذا عمل على هذه الصفة سمّى محورا ثمّ نركّب فى وسط المحور فلكة مثقوبة ثقبا مربعة بقدر وسط المحور مهندمة على قدر المحور لتكون اذا ركبت الفلكة فى المحور دارت الفلكة

1) LCK من

DIE MECHANIK DES HERON VON ALEXANDRIA.

ZWEITES BUCH.

1 Da die Potenzen, durch die man eine bekannte Last mit einer bekannten Kraft bewegt, fünf sind, müssen wir notwendigerweise ihre Formen, ihren Gebrauch und ihre Namen darlegen, weil diese Potenzen auf ein natürliches Prinzip zurückgehen, während sie ihrer Form nach sehr verschieden sind. Ihre Namen nun sind folgende: die Welle mit dem Rade, der Hebel, der Flaschenzug, der Keil, die Schraube.

Die Welle mit dem Rade wird auf folgende Weise hergestellt. Man nimmt ein hartes viereckiges Stück Holz in der Form eines Balkens; seine Enden mache man durch Hobeln rund und befestige darauf passend gearbeitete Ringe von Kupfer, damit die Rauheit der Achse nicht zur Geltung komme, sodaſs sie, wenn sie in runde mit Erz ausgelegte Löcher in einer festen, unbeweglichen Stütze gelegt werden, sich leicht drehen. Dieses Holz, nach der eben gegebenen Beschreibung angefertigt, nennt man Achse. Dann befestigt man auf der Mitte der Achse ein Rad, das mit einem nach Maſsgabe der Mitte der Achse angebrachten und zu dem Maſs der Achse passenden viereckigen Loch versehen ist, damit die Achse und das Rad, wenn letzteres auf ersterer befestigt ist, sich zusammen drehen. Dieses Rad nennt man Peritrochion, dessen Übersetzung „das Umgebende“ ist. Wenn wir dies gethan haben, machen wir auf beiden

علاقة ا وبين الحبال فيكون كما اج عند اط كذلك الثقل الذى عند ح الى الثقل الذى[1] عند ه فاذا صيّرنا نسبة جا الى اط كنسبة الثقل* الى الثقل[2] واخرجنا[3] علامتى بج نحو زط على زوايا قائمة يظهر لنا انّ الفلكة تحرّكت[4] من علامة ب الى علامة ز وتسكن وهذا القول ايضا فى الاثقال الاخر فاذًا قد يمكن ان يعادل كل ثقل ثقلا اصغر منه على هذه الجهة ⊙ امّا فى اوّل القول من مداخل صناعة الحيل فيكفى بهذا وامّا فى الذى يتلوه فانّا نخبّر عن الخمس قوى التى تحرّك بها الاثقال ونشرح علّتها والفعل الطبيعى[5] فيها ونخبّر باشياء* اخر تكون كثيرة المنفعة فى حمل الاثقال ورفعها[6] ⊙

تمّت المقالة الاولى من كتاب ايرن* فى رفع الاشياء الثقيلة[7] ⊙

---

1) B om. 2) B om. 3) BCL add. على 4) K تحرك BC تتحرك 5) B om. 6) B om. 7) B om.

fernung des Punktes α von den Fäden, und es verhält sich wie $\alpha\gamma$ zu $\alpha\vartheta$ so die Last bei η zur Last bei ε. Wenn wir das Verhältnis von $\gamma\alpha$ zu $\alpha\vartheta$ gleich dem (umgekehrten) Verhältnis von Last zu Last machen und die Punkte β, γ nach $\zeta\vartheta$ unter rechtem Winkel verschieben, so zeigt es sich, dafs die Rolle sich vom Punkte β nach dem Punkte ζ bewegt hat und in Ruhe ist. Dieselbe Überlegung gilt auch für andre Gewichte. Unter diesem Gesichtspunkt kann also jede Last einer Last, die kleiner als sie selbst ist, das Gleichgewicht halten.

Dies mag für das erste Buch der Einleitung in die Mechanik genügen. Im folgenden werden wir von den fünf Potenzen handeln, mittels derer Lasten bewegt werden, das, worauf sie sich gründen und wie die natürliche Wirkung bei ihnen eintritt, erläutern. Aufserdem werden wir von anderen Dingen reden, die beim Heben und Tragen der Lasten von grofsem Nutzen sind.

Ende des ersten Buches der Schrift des Hero über das Heben schwerer Gegenstände.

حبلى دح طه فانّ البعد الذى بين خطّ[1] جز وبين الثقل الذى عند علامة ه اعنى زط يكون عند سكون الميزان كما[2] زح عند زط كذلك الثقل المعلّق على علامة ه عند الثقل المعلق على علامة د فان هذا قد تبيّن فيما تقدّم ⊙

[٣٤] ولتكن فلكة او بكرة متحركة على محور على مركز ا وليكن قطرها خطّ بج موازيا للافق ولنعلق على[3] علامتى بج حبلين وهما زد جه ولنعلق فيهما اثقالا متساوية فيظهر لنا ان البكرة لا تميل الى جهة من الجهات لان الثقلين متساويان والبعدان اللذان من علامة ا متساويان فليكن الثقل الذى عند د اعظم من الثقل الذى عند ه فيظهر لنا ان الفلكة تميل الى جهة ب وتنحطّ علامة ب مع الثقل فينبغى لنا ان نعلم الى اىّ موضع اذا انحطّ ثقل د الاعظم تسكن فلنحطّ علامة ب ونصيّرها على علامة ز وليكن حبل بد على حبل زح فيسكن الثقل فيظهر لنا ان حبل جه يلتفّ على حافة الفلكة ويكون* معلّقا على[4] الثقل على علامة ج لان ما كان منه ملتفّا ليس هو متعلّق فنخرج زح الى علامة ط فمن اجل انّ الثقلين معتدلان تكون نسبة الثقل* الى الثقل[5] كنسبة البعد الذى* بين

1) Codd. علامة 2) BCL add. فى 3) B om. 4) B متعلقامع 5) BCL om.

befindliche Gewicht gröſser als das bei ε, so zeigt es sich, daſs die Rolle nach β hin sich neigt und der Punkt β samt dem Gewichte sich senkt. Nun müssen wir erfahren, an welcher Stelle das gröſsere Gewicht δ, wenn es sich senkt, zur Ruhe kommt. Senken wir also den Punkt β und lassen ihn nach ζ kommen und befinde sich dann der

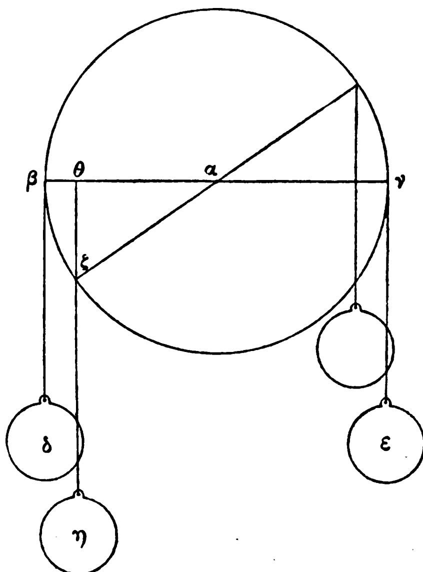


Fig. 21.

Faden $\beta\delta$ bei dem Faden $\zeta\eta$, sodaſs das Gewicht stille steht. Es zeigt sich nun, daſs der Faden $\gamma\varepsilon$ sich um den Rand der Rolle aufgewickelt, und daſs er vom Punkte γ aus an dem Gewichte hängt, weil der aufgewickelte Teil desselben nicht mehr hängt. Verlängern wir nun $\zeta\eta$ nach dem Punkte ϑ, so ist, weil die beiden Gewichte im Gleichgewicht sind, das Verhältnis des einen Gewichtes zum anderen gleich dem (umgekehrten) Verhältnis der Ent-

دَهَ وليكن ايضا بعد تعليق الاثقال العمود معتدلا فقد برهن ارشميدس ان نسبة الثقل الى الثقل فى هذا ايضا كنسبة البعد الى البعد بالمبادلة فامّا فى الاجسام غير

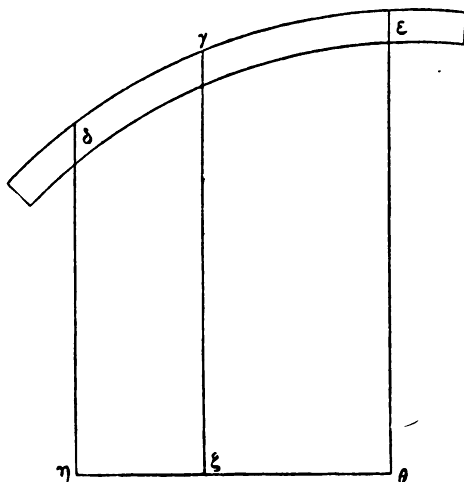


Fig. 20.

المرتبة(¹ المائلة البعد فانّه ينبغى ان نتوهم فيها هذا نخرج الحبل الذى من علامة جَ الى ما يلى علامة زَ ونخرج خطّا ونتوهم انّه يخرج على علامة زَ مساويا(² لخطّ(³ زحط وليكن ثابتا اعنى ان يكون على زاوية قائمة على الحبل فاذا كان الحبلان اللذان من علامتى دَهَ هكذا اعنى

1) Codd. الغير مرتبة 2) Codd. مساو 3) Codd. خط

führen: Schriften über die Hebel, bewiesen. Wenn wir nun von dem Wagebalken die auf jeder Seite befindlichen Stücke abschneiden, nämlich $\vartheta\alpha$ und $\varkappa\beta$, so wird die Wage nicht mehr im Gleichgewicht sein.

33 Manche haben gedacht, daſs die umgekehrte Proportionalität bei einer unregelmäſsigen Wage nicht vorhanden sei. Denken wir uns also auch einen verschieden schweren und dichten Wagebalken von irgend einem Material, der sich im Gleichgewicht befindet, wenn er im Punkte γ aufgehängt ist. Wir verstehen an dieser Stelle unter Gleichgewicht die Ruhe und das Verharren des Wagebalkens, auch wenn er nach irgend einer Seite geneigt ist. Dann hängen wir an beliebigen Punkten, nämlich δ und ε Gewichte auf, nach deren Aufhängen der Balken wieder im Gleichgewicht sei. Archimedes hat nun bewiesen, daſs auch in diesem Falle sich Gewicht zu Gewicht umgekehrt wie Abstand zu Abstand verhält. Was nun die unregelmäſsigen Körper angeht, bei denen der Abstand geneigt ist, so müssen wir uns dabei folgendes vorstellen. Es werde der beim Punkte γ befindliche Aufhängefaden nach ζ hin verlängert. Ziehen wir nun eine Linie und denken wir sie uns durch den Punkt ζ gehen, und der Linie $\zeta\eta\vartheta$ gleich; sie sei „fest“ d. h. senkrecht zu dem Faden. Da sich nun die beiden, bei den Punkten δ und ε befindlichen Fäden, nämlich $\delta\eta$ und $\varepsilon\vartheta$ so verhalten, so ist der Abstand, der zwischen der Linie $\gamma\zeta$ und dem im Punkte ε aufgehängten Gewichte vorhanden ist, $\zeta\vartheta$, und bei Ruhe der Wage verhält sich wie $\zeta\eta$ zu $\zeta\vartheta$, so die im Punkte ε aufgehängte Last zu der im Punkte δ aufgehängten, was im Vorhergehenden bewiesen ist.

34 Sei eine runde Scheibe oder eine Rolle auf einer Achse um den Mittelpunkt α beweglich; ihr Durchmesser, die Linie $\beta\gamma$, sei dem Horizont parallel. Hängen wir nun in den Punkten β und γ zwei Fäden auf, nämlich $\beta\delta$ und $\gamma\varepsilon$, an denen gleiche Gewichte hängen, so zeigt es sich uns, daſs die Rolle sich nach keiner Seite hin neigt, weil die beiden Gewichte gleich, und die beiden Abstände vom Aufhängepunkt α gleich sind. Sei nun das beim Punkte δ

بانقلاب وقد ينبغى ان لا[1] يقال هذا قولا مرسلا بل يميّز[2] تمييزا احسن[3] فلنفرض عمود ميزان متساوى لثقل والثخن وهو اب ولتكن علاقته[4] التى هى علامة[5] ج فى وسط العمود وليعلّق على علامات ما اى[6] علامات كانت وهى علامتا ده حبال تكون حبلى دز هح ولنعلّق عليها ثقلين وليكن الميزان بعد تعليق[7] الثقل معتدلا ولنتوهّم الحبلين مخرجين على علامتى ط ك فيكون عند اعتدال الميزان كبعد طج عند بعد[8] جك كذلك[9] ثقل ح عند ثقل ز فان هذا قد بيّنه[10] ارشميدس فى كتبه التى تسمى كتب الامخال فان فصلنا من عمود الميزان ما[11] يلى الجهتين جميعا اعنى طا كب فان الميزان لا يعتدل ⊙

[٣٣] وقد ظنّ قوم ان المناسبة التى تكون بالمبادلة[12] ...... فلنفرض ايضا عمود ميزان مختلف الثقل والثخن من اى جسم كان وليكن معتدلا اذا علّق من علامة ج ومعنانا فى هذا الموضع فى الاعتدال سكون العمود وثباته وان كان مائلا الى جهة من الجهات ثم نعلّق اثقالا ما على علامات اى علامات كانت وهى علامات

---

1) B om. 2) B om. 3) LCK اخر 4) B om. 5) B om. 6) B om. 7) LK تعديل 8) L om. 9) K add. يكون 10) B اثبته 11) BC مما 12) LC بالمعادلة

die Hälfte von $\alpha\beta$. Die Beziehung von $\zeta\beta$ zu $\alpha\gamma$ wurde eben erwähnt. Die Lasten, die sie trafen, bevor die in den Punkten ε, ζ angebrachten Gewichte aufgehängt wurden, sind ebenfalls bereits erwähnt; also ist alles genannt, was auf die beiden Stützen $\alpha\gamma$ und $\beta\delta$ entfällt. Wenn noch andre Gewichte angebracht werden, so erhalten wir nach derselben Methode Kenntnis davon, wieviel Gewicht auf jede von beiden Stützen entfällt.

32 Manche Leute glauben, dafs, wenn bei den Wagen die Gewichte den Gewichten das Gleichgewicht halten, die Gewichte zu den Abständen in jenem umgekehrten Verhältnisse stehen. Man darf dies aber nicht so allgemein behaupten, sondern man mufs eine bessere Unterscheidung einführen. Nehmen wir einen gleichmäfsig dicken und schweren Wagebalken an, nämlich $\alpha\beta$, dessen Aufhängepunkt, nämlich der Punkt γ, in der Mitte desselben liege. Hängt man nun an beliebigen Punkten z. B. den Punkten $\delta\varepsilon$ Seile, nämlich die beiden Seile $\delta\zeta$ und $\varepsilon\eta$, an denen zwei Gewichte befestigt sind, auf, und befinde sich die Wage nach Aufhängen der Gewichte im Gleichgewicht. Denken wir uns die beiden Seile durch die Punkte ϑ und $\varkappa$ gehen, so wird beim Gleichgewichtszustand der Wage der Abstand $\vartheta\gamma$ sich zum Abstand $\gamma\varkappa$ verhalten, wie das Gewicht η zum Gewichte ζ. Das hat Archimedes in seinen Schriften, die den Titel

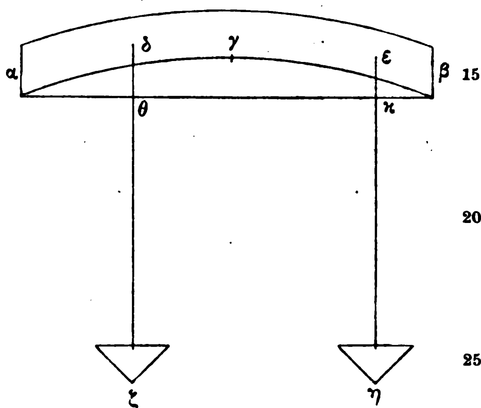


Fig. 19.

[٣١] وليكن ثقل ما آخر ايضا متساوى الاجزاء والثقل وهو اب وليكن على قوائم متساوية الوضع هما اج بد فيظهر لنا ان كل واحدة من القوائم ينالها نصف ثقل اب فلنعلّق ثقلا على اب من علامة ة فان كانت علامة ة تفصل اب بنصفين فيظهر لنا ان كل واحدة من القوائم ينالها نصف ثقل اب ونصف الثقل المعلّق على علامة ة او الموضوع عليها فان لم تكن علامة ة تفصله بنصفين وفصل الثقل بقسمين على نسبة بة الى اة فان ثقل الجزء المناسب ةب ينال اج وثقل الجزء المناسب ةا ينال بد وايضا كل واحدة من القوائم ينالها نصف اب فان علّقنا ثقلا آخر على علامة ز وقسمناه بنسبة از الى زب فان دب ينالها ثقل الجزء المناسب از واج ينالها ثقل الجزء المناسب زب فينال كل واحدة من القوائم نصف اب وزب عند اج ملفوظ وقد كانت الاثقال التى ينالها قبل ان تعلّق الاثقال التى علّقت على زة ملفوظة فاذا جميع الذى ينال قائمتى اج بد ملفوظ وايضا ان علّقت اثقال اخر فبهذا[1] العمل تخرج لنا معرفة كم ينال كل واحدة منها من الثقل ⊙

[٣٢] وقد توهّم قوم فى الموازين انّه اذا عادلت الاثقال الاثقال[2] فان تلك[3] النسبة تكون للاثقال[4] الى الابعاد

1) Codd. بهذا 2) Codd. الابعاد 3) BCL بتلك
4) BCL الاثقال

auf einer oder beiden Seiten überragend ist, so wird sich uns ebenso auf dieselbe Weise klar ergeben, wieviel von der Last auf jeden der Träger kommt.

31 Sei nun eine andre, gleichfalls ebenmäſsige und gleichmäſsig schwere Last gegeben, nämlich $\alpha\beta$, die auf Stützen von gleicher Lage ruhe, nämlich $\alpha\gamma$ und $\beta\delta$. Dann ist klar, daſs auf jede der Stützen die Hälfte der Last $\alpha\beta$ fällt.

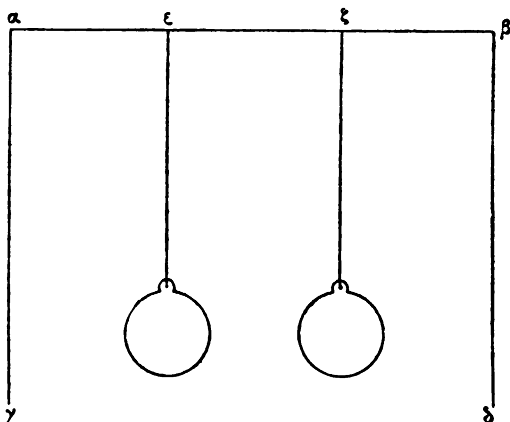


Fig. 18.

Hängen wir nun an $\alpha\beta$ im Punkte ε irgend ein Gewicht. Halbiert der Punkt ε $\alpha\beta$, so ist klar, daſs auf jede der Stützen die Hälfte der Last $\alpha\beta$ und die Hälfte des im Punkte ε aufgehängten oder aufgelegten Gewichtes entfällt. Halbiert der Punkt ε die Last aber nicht, und teilt man die Last nach dem Verhältnis von $\beta\varepsilon$ zu $\varepsilon\alpha$, so fällt das Gewicht des $\varepsilon\beta$ proportionalen Teiles auf $\alpha\gamma$ und das Gewicht des $\varepsilon\alpha$ proportionalen Teiles auf $\beta\delta$, auſserdem trägt jede der Stützen die Hälfte von $\alpha\beta$. Hängen wir nun ein andres Gewicht im Punkte ζ auf, und teilen wir es im Verhältnis von $\alpha\zeta$ zu $\zeta\beta$, so fällt auf $\delta\beta$ das Gewicht des $\alpha\zeta$, und auf $\alpha\gamma$ das Gewicht des $\zeta\beta$ proportionalen Teiles; und es trifft jede der Stützen

فاضلا [1] ونريد ان نعلم كل واحدة من القوائم كم ينالها من الثقل لانا[2] قد بيّنّا انّه اذا كان ثقل از موضوعا على جد اب فان جد ينالها من الثقل اكثر من اب بقدر ضعف* جز واذا كان جه موضوعا على جد اب فانّ[3] اب[4] ينالها من الثقل اكثر من جد بقدر ضعف[5] اه فيظهر لنا انّ جد ينالها من الثقل اكثر مما ينال اب بقدر زيادة ضعف جز على ضعف اه فان كان جز اه متساويين فانّ الذى ينال كل واحدة من جد اب من الثقل متساو فبالقدر الذى يكون البعد اعظم بذلك القدر ينال تلك القائمة من زيادة الثقل ⊙ ومّما تقدّم من قولنا يظهر لنا انه اذا[6] كان على اساطين او قوائم عوارض او حائط متساوى الثخن والثقل وكانت الابعاد التى بينها مختلفة كيف كانت فانّه قد يمكنّا ان نعلم ايّما من القوائم* ينالها ثقل اعظم[7] وكم زيادة الثقل فان كان على القوائم عوارض او غير ذلك فانّه يظهر لنا ايضا[8] بهذا العمل وكذلك ايضا[9] اذا كان عود[10] او حجر يحمله اناس[11] على اعضادهم او على وهق[12] وكان بعضهم فى وسطه وبعضهم فى طرفه وإن كان الثقل فاضلا[13] من جهة واحدة او من جهتين فانّه قد يظهرلنا كم ينال[14] كل واحد من الحاملين من الثقل[15] ⊙

(جهل .ms) مجرور (محرور) فى احد طرف الثقل كل واحد طرفا من الخشب

der Last, so ergiebt sich, dafs auf $\gamma\delta$ um so viel mehr von der Last kommt als auf $\alpha\beta$, als der Überschufs des Doppelten von $\gamma\zeta$ über das Doppelte von $\alpha\varepsilon$ beträgt. Wenn nun $\gamma\zeta$ und $\alpha\varepsilon$ gleich sind, so ist das auf $\gamma\delta$ und $\alpha\beta$ fallende Gewicht gleich. Je gröfser aber der Abstand wird, desto mehr von dem Überschusse der Last entfällt auf jene Stütze.

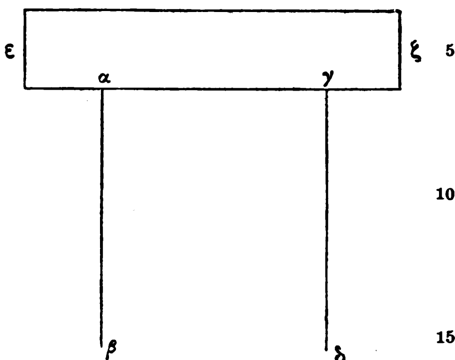


Fig. 17.

Aus dem Vorhergesagten erhellt, dafs, wenn auf Säulen oder Stützen Querbalken oder eine Mauer, die gleichmäfsig schwer und dick ist, liegt, und die Abstände zwischen ihnen beliebig verschieden sind, wir erfahren können, auf welche Stütze ein gröfseres Gewicht fällt und wie grofs der Überschufs ist. Wenn auf den Stützen Querbalken oder sonst etwas liegt, so ergiebt es sich nach derselben Methode. Wenn ferner Leute auf den Schultern oder in einer Schlinge einen Balken tragen, einige in der Mitte, andre an den Enden desselben, und wenn die Last

1) Codd. om. 2) LK انا 3) CL om. 4) CL om. 5) B om. 6) LC متى 7) L عظيم 8) B om. 9) Codd. add. فانّه 10) K عمود 11) LK ناس 12) B دهن L دهر KC دهق 13) Codd. om. 14) B om. 15) B add. كانت فى نسخة الاصل اربعة اناس (ms. الاس) تحمل كل اثنين منهم خشبا مجرورا (ms. محرورا) فى حبل

الاشياء الظاهرة فانّ الرجلين يحركان ثقلا ما بسهولة لا يحركه الرجل الواحد ولو استعمل قوّته كلّها فيظهر لنا ان الثقل انّما تحرّك لما زيدت قوّة الرجل الثانى فامّا ان الرجل الثانى وحده لا يحرك الثقل فانّ ذلك ظاهر لانّه ان سخا الرجل الاوّل وتركه على الثانى وحده لم يحركه فان قسم الثقل بنصفين فانّ الرجل الاول وحده يحرك نصف الثقل ويبقى النصف الآخر ثابتا فيظهر لنا ان النصف الذى حرّكه الرجل الواحد كان يجتذبه النصف الاخر قبل ان ينفصل منه وكذلك ايضا اذا كانت قوى كثيرة تحرّك ثقلا ما ونقص من تلك القوى قوة واحدة فان جميع القوى بعد ان ننقص القوّة الواحدة لا تحرّك الثقل فان ابتدت القوة المجتمعة ان تقلّ ذلك الثقل(1 فان عند زيادة القوة المفروضة الباقية ينحرّك الثقل حركة سهلة وقد يظهر لنا ذلك ايضا فى الضربات لان الشىء الذى ينهشم بالضربات الكثيرة اذا زيدت عليه ضربة واحدة رضّته ليس باجتماع تلك فقط لكن بها ايضا وحدها وذلك قد يظهر فى المحسوسات لانّه اذا كنّا نحمل(2 ثقلا ما وكان فى ثقله ما نقوى عليه لكن بعد تعب وألم فيظهر لنا ان قوّتنا قدر ذلك الثقل ⊙

[٣٠] فلنفرض قوائم $\overline{اب}$ $\overline{جد}$ وعليها جسم ما متساوى الثقل والثخن وهو $\overline{هز}$ وليكن على كل واحدة من القوائم

grofse Lasten nicht bewegen können, ist durch klare Vorgänge bewiesen; denn zwei Mann bewegen mit Leichtigkeit eine Last, die einer, auch mit Aufbietung seiner ganzen Kraft, nicht bewegt. Es ist also klar, dafs sich die Last nur bewegen läfst, wenn die Kraft des zweiten Mannes hinzutritt. Dafs der zweite Mann allein die Last nicht bewegt, ist klar; denn wenn der erste Mann ruht, und sie dem zweiten überläfst, so bewegt er sie nicht. Wenn aber die Last in zwei Hälften geteilt wird, so bewegt der erste Mann die Hälfte der Last, und die andre Hälfte bleibt ruhig. Es zeigt sich also, dafs die Hälfte, die ein Mann bewegt, von der anderen Hälfte gezogen wurde, ehe sie von ihr getrennt war. Ebenso bewegen, wenn viele Kräfte eine Last bewegen, und von diesen Kräften eine weggenommen wird, alle Kräfte nach Wegnahme jener einen die Last nicht mehr. Wenn aber die wiedervereinigte Kraft jene Last zu heben beginnt, so bewegt sie durch den Zutritt jener übrigen gegebenen Kraft die Last leicht. Ebenso zeigt sich dies beim Schlagen, weil ein Gegenstand, der durch viele Schläge mürbe geworden ist, durch Hinzufügung eines einzigen Schlages in Stücke bricht, nicht nur durch die Vereinigung derselben, sondern auch durch diesen allein. Dies zeigt sich auch bei den Empfindungen; denn wenn wir eine Last heben, deren Gewicht wir, wenn auch mit Anstrengung und Mühe bewältigen, so kommt unsere Kraft offenbar jener Last gleich.

30 Nehmen wir nun die Stützen $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ an, und ruhe auf ihnen ein gleichmäfsig schwerer und dicker Körper, nämlich $\varepsilon\zeta$, der über jede der Stützen hinausragt. Wir wollen wissen, wieviel von der Last jede einzelne der Stützen trifft. Weil wir bewiesen haben, dafs, wenn die Last $\alpha\zeta$ auf $\gamma\delta$ und $\alpha\beta$ liegt, auf $\gamma\delta$ um das Doppelte von $\gamma\zeta$ mehr kommt als auf $\alpha\beta$; und wenn $\gamma\varepsilon$ auf $\gamma\delta$ und $\alpha\beta$ liegt, auf $\alpha\beta$ um das Doppelte von $\alpha\varepsilon$ mehr von

1) B om. 2) LC om.

الثقل صار الذى(¹ ينال قائمة اب من الثقل اكثر ممّا كان ينالها قبل ذلك بقدر نصف* هح اعنى بقدر نصف(² هج وصار الذى ينال هز اقلّ ممّا كان ينالها اوّلا بقدر هج فيكون الذى ينال دج من الثقل على هذا القول نصف هج لان القائمة التى زيدت تحت الثقل نقصت ممّا ينال هز قدرا مساويا لثقل هج وزادت على قائمة اب ثقلا مساويا لنصف هج فتكون جد ينالها نصف ثقل هج الباقى وقد كان هذا المقدار ينالها على العمل الآخر فمن هاهنا يظهر لنا انّه اذا كان ثقل ما على قوائم تحمله وزيد على تلك القوائم قائمة اخرى فان احدى القوائم الاولى التى هى الاولى ينالها من الثقل اكثر مما كان ينالها قبل الزيادة والقائمة الاخرى ينالها من الثقل اقلّ مما كان ينالها قبل الزيادة ومن اجل انّه لمّا كانت القوائم اب هز جد كان(³ الذى ينال اب نصف اه ولمّا نقص جد كان الذى ينال اب نصف ثقل اح ظهر لنا أنّ هج لمّا ان تعلّق صار فى هيئة مخل فحمل بعض الثقل الذى كان على اب وزاد على هز اكثر ممّا كان عليها من الثقل اوّلا وثقل اج ثابت فى مكانه ⊙

[٢٩] فامّا انّه لا يمكن ان تحرك القوى اليسيرة اثقالا عظاما(⁴ بلا حيلة تستعمل فيها فانّ ذلك قد تبيّن من

1) Codd. om. 2) B om. 3) B om. 4) Codd. عظيما

Stütze $\gamma\delta$ die Hälfte des Gewichtes von $\gamma\varepsilon$, endlich die Stütze $\varepsilon\zeta$ die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\gamma$ trifft. Bevor wir die Stütze $\gamma\delta$ einsetzten, haben wir gezeigt, wieviel Gewicht auf jede der Stützen $\alpha\beta$ und $\varepsilon\zeta$ entfällt. Es ist also klar, daſs auf die Stütze $\alpha\beta$, nachdem die Stütze $\gamma\delta$ unter die Last kam, mehr von der Last kommt, als vorher, und zwar um die Hälfte von $\varepsilon\eta = \varepsilon\gamma$ mehr, auf $\varepsilon\zeta$ aber um $\varepsilon\gamma$ weniger. Hierach kommt also auf $\gamma\delta$ die Hälfte von $\varepsilon\gamma$, weil die unter der Last hinzugefügte Stütze von dem, was $\varepsilon\zeta$ trifft, einen $\varepsilon\gamma$ gleichen Betrag hinwegnahm und $\alpha\beta$ einen der Hälfte von $\varepsilon\gamma$ gleichen Betrag hinzufügte; also trifft $\gamma\delta$ die andre Hälfte von $\varepsilon\gamma$. Soviel traf sie auch nach dem andern Verfahren.

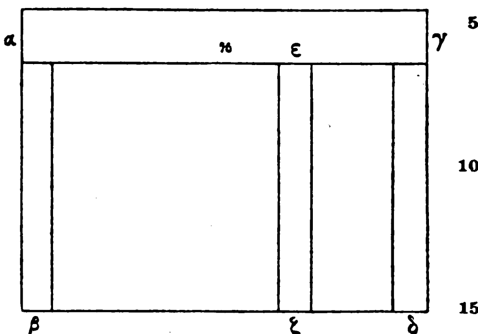


Fig. 16.

Daraus erhellt, daſs, wenn eine Last auf Stützen ruht, die sie tragen, und man diesen Stützen eine andre hinzufügt, die erste der früheren Stützen mehr von der Last trifft als vor der Hinzufügung, und die andre weniger als sie vor der Hinzufügung traf. Weil nun, während $\alpha\beta$, $\varepsilon\zeta$ und $\gamma\delta$ die Stützen waren, das auf $\alpha\beta$ Entfallende die Hälfte von $\alpha\varepsilon$ war, nachdem aber $\gamma\delta$ weggenommen war, das auf $\alpha\beta$ Entfallende die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\eta$ ist, so zeigt es sich, daſs $\varepsilon\gamma$ dadurch, daſs es schwebend wurde, als Hebel wirkte und einen Teil des auf $\alpha\beta$ ruhenden Gewichtes übernahm, auf $\varepsilon\zeta$ dagegen gröſseres Gewicht wälzte, als vorher auf diesem geruht hatte, während die Last $\alpha\gamma$ ihren Platz behielt.

29 Daſs kleine Kräfte ohne Anwendung einer Maschine

حج يكون ثابتا على هز وحدها[1] ويكون نصف اح على كل واحدة من قائمتى اب حط فاذا نقصنا[2] قائمة حط تكون لعلامة ح قوّة القائمة بعد ان يكون الجسم ملتحما فتكون اب ينالها نصف ثقل حا و هز ينالها الباقى اعنى جح ونصف اح اعنى اذا توهّمنا اج مفصولا بنصفين على علامة ك يكون كه نصف اح فاذا كانت القائمة التى كانت اوّلا عند ه تحت علامة ك فانّه ينالها ثقل جميع اج وكلما تباعدت القائمة من الفصل الذى يقسم الثقل بنصفين فانّ بذلك القدر ينال اب من الثقل ويكون باقى الثقل على القائمة الاخرى ⊙

[٢٨] واذا كان هذا هكذا فلنفرض قائمتين هما اب هز موضوعة الوضع الذى ذكرناه قبل هذا وليكن ثقل هج فاضلا ولنقسم اج بنصفين على علامة ك فقد بيّنّا ان قائمة اب ينالها* ثقل كه وقائمة هز ينالها[3] باقى ثقل اج ولنفرض تحت علامة ج قائمة وهى قائمة جد فيتبيّن ايضا ان قائمة اب ينالها نصف ثقل ها وقائمة دج ينالها نصف ثقل* هج وقائمة هز ينالها نصف[4] ثقل اج ومن قبل ان نضع قائمة جد بيّنّا كم ينال كل واحدة من اب هز من الثقل[5] فظاهر لنا ان قائمة جد لما ان صيرت تحت

1) Codd. وحده 2) K add. منه 3) B om. 4) BCL add. من 5) B om.

die Hälfte von $\alpha\eta$ ruht auf jeder einzelnen der beiden Stützen $\alpha\gamma$ und $\eta\vartheta$. Wenn wir nun die Stütze $\eta\vartheta$ wegnehmen, erhält der Punkt η die Kraft derselben, wenn der Körper zusammenhaftet, und auf $\alpha\beta$ entfällt die Hälfte

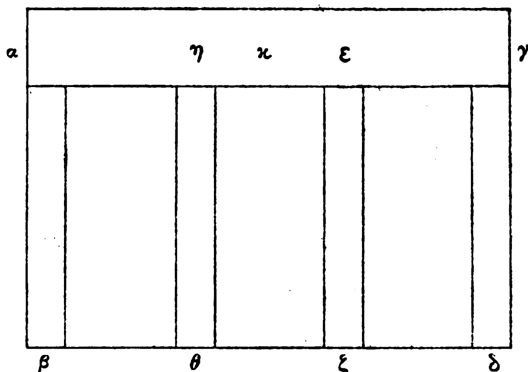


Fig. 15.

des Gewichtes von $\eta\alpha$, auf $\varepsilon\zeta$ der Rest, nämlich $\gamma\eta$ und die Hälfte von $\alpha\eta$; wenn wir uns $\alpha\gamma$ im Punkte $\varkappa$ halbiert denken, so ist $\varkappa\varepsilon$ die Hälfte von $\alpha\eta$. Wenn nun die Stütze, die zuerst bei ε war, unter den Punkt $\varkappa$ rückt, so trifft sie das Gewicht von ganz $\alpha\gamma$. Und je weiter sich die Stütze von dem Schnittpunkt, der die Last halbiert, entfernt, umsomehr bekommt $\alpha\beta$ von der Last, während der Rest derselben auf der anderen Stütze ruht.

28 Wenn sich dies so verhält, so wollen wir zwei Stützen annehmen, nämlich $\alpha\beta$ und $\varepsilon\zeta$ in der vorerwähnten Lage und die Last $\varepsilon\gamma$ sei überragend. Teilen wir nun die Last im Punkte $\varkappa$ in zwei Hälften, so haben wir bewiesen, daſs das Gewicht $\varkappa\varepsilon$ auf $\alpha\beta$ und der Rest der Last $\alpha\gamma$ auf $\varepsilon\zeta$ fällt.

Nehmen wir nun unter dem Punkte γ eine Stütze an, nämlich die Stütze $\gamma\delta$, so ist ebenfalls bewiesen, daſs die Stütze $\alpha\beta$ die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\varepsilon$ und die

اح و حط ينالها نصف هب و نصف اه ونصف(1 حب* ونصف اح(2 ونصف هب هو جميع اب وهو الموضوع على جميع الاساطين وان كانت الاساطين اكثر فانّا بهذا العمل نعرف كم ينال كل واحدة منها من الثقل ⊙

[۲۷] واذا كان هذا(3 هكذا فلنفرض قوائم اب جد متساوية الوضع وليكن عليها جسم ما متساوى العظم والثقل وهو اج وقد كنّا قلنا انّ كل واحدة من قائمتى اب جد ينالها نصف ثقل اج فلننقل قائمة جد ونقربها الى اب وليكن موضع هز فنريد ان نعلم ايضا* اى شىء(4 ينال اب هز من الثقل فنقول ان بعد اه إمّا ان يكون مساويا لبعد هج وإمّا ان يكون اصغر منه وإمّا ان يكون اعظم منه فليكن اوّلا(5 مساويا له فيظهر لنا ان ثقل اه يعادل ثقل هج فان نحن اخرجنا قائمة اب يقيم ثقل اج ثابتا على حالة فيظهر لنا ان قائمة اب لم يكن ينالها من الثقل شىء وانّما كان ثقل اج على هز وحدها(6 فان كان بعد جه* اعظم من بعد ها فان ثقل اج ينحطّ الى ما يلى ج فليكن بعد هج(7 اصغر من بعد ها وليكن جه مساويا لهح فاذًا جح يكون معتدلا على هز وحدها(6 ولنضع ركنا ما على حط فان توهّمنا ان جميع الثقل قد فصل على علامة ح فان

1) B om. 2) LC om. 3) BCL om. 4) B ايش
5) L om. 6) Codd. وحده 7) B om.

von $\varepsilon\beta$ fällt. Die Hälfte von $\alpha\varepsilon$ plus der Hälfte von $\eta\beta$ plus der Hälfte von $\alpha\eta$ plus der Hälfte von $\varepsilon\beta$ ist aber das Ganze $\alpha\beta$, und das ist es, was auf den Säulen zusammen liegt. Wenn der Säulen noch mehr sind, so erkennen wir durch dasselbe Verfahren, wieviel Gewicht auf jede von ihnen kommt.

27 Wenn dem so ist, so nehmen wir die Stützen $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ in gleicher Lage an; es liege auf ihnen ein gleichmäſsig dicker und schwerer Körper, nämlich $\alpha\gamma$. Wir haben eben gesagt, daſs auf jede der beiden Stützen $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\gamma$ fällt. Versetzen wir nun die Stütze $\gamma\delta$ und nähern sie $\alpha\beta$, nämlich an die Stelle $\varepsilon\zeta$, so wollen wir wissen, was von dem Gewichte auf $\alpha\beta$ und $\varepsilon\zeta$ entfällt. Wir behaupten nun, daſs die Entfernung $\alpha\varepsilon$ entweder gleich der Entfernung $\varepsilon\gamma$ oder kleiner oder gröſser als dieselbe ist. Sie sei zuerst ihr gleich, so zeigt es sich uns, daſs das Gewicht von $\alpha\varepsilon$ dem Gewichte von $\varepsilon\gamma$ das Gleichgewicht hält. Wenn wir also die Stütze $\alpha\beta$ wegnehmen, bleibt das Gewicht $\alpha\beta$ ruhig in seiner Lage, und es zeigt sich uns, daſs auf die Stütze $\alpha\beta$ nichts von dem Gewichte entfiel, sondern das Gewicht $\alpha\gamma$ war nur auf $\varepsilon\zeta$. Wenn nun die Entfernung $\gamma\varepsilon$ gröſser als die Entfernung $\varepsilon\alpha$ ist, so neigt sich die Last nach γ hin. Sei nun der Abstand $\gamma\varepsilon$ kleiner als der Abstand $\varepsilon\alpha$ und sei $\gamma\varepsilon$ gleich $\varepsilon\eta$, so ruht $\gamma\eta$ im Gleichgewicht auf $\varepsilon\zeta$ allein. Setzen wir nun bei η einen Pfeiler ein, so ruht, wenn wir die ganze Last bei dem Punkte η durchschnitten denken, $\eta\gamma$ auf $\varepsilon\zeta$ allein, und

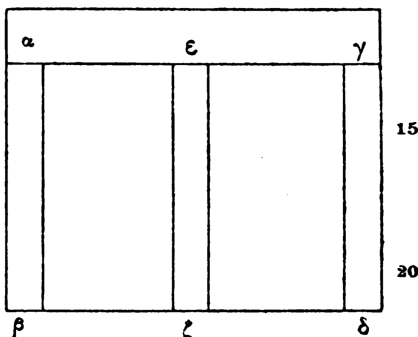


Fig. 14.

[٢٦] فليكن ثقل متساوى الثخن متساوى الاجزاء على الاساطين وهو اب وليكن موضوعا على اسطوانتين وهما اج بد فتكون كل واحدة من اسطوانتى اج بد ينالها نصف ثقل اب فلتكن ايضا اسطوانة اخرى وهى هز وتفصل بعد اب كيف ما وقع فنريد ان نعرف كل واحدة من اساطين اج هز بد كم ينالها من الثقل فلنتوهّم ثقل اب مقسوما على علامة ه قسمة على خطّ[1] قائم على اسطوانة فيظهر لنا ان جهة اه ينال كل واحدة من اسطوانتى اج هز نصف ثقلها وجهة هب ينال كل واحدة من اسطوانتى هز بد نصف ثقلها لانه لا يكون اختلاف فيما ينال الاساطين اذا كان الموضوع عليها متصلا او كان منفصلا لانه متصلا *كان او منفصلا[2] فان جميعه على الاسطوانة فاذًا اسطوانة هز ينالها نصف ثقل هب ونصف ثقل اه اعنى نصف جميع ثقل اب واسطوانة اج ينالها نصف ثقل اه واسطوانة بد ينالها نصف ثقل هب فان قسمنا نصف اب على نسبة بعد اه[3] الى بعد هب فان ثقل القسم المشابه لنسبة اه ينال اج والثقل المناسب لبعد هب ينال بد وايضا فلنضع اسطوانة اخرى وهى حط فيظهر لنا ان اج ينالها نصف اه* و بد ينالها نصف حب و هز ينالها نصف

---

1) B حائط 2) B om. 3) Codd. اب

$\beta\delta$ wissen, wieviel von der Last auf sie kommt. Denken wir uns nun die Last $\alpha\beta$ im Punkte ε nach einer auf der Säule Senkrechten geteilt, so zeigt es sich, daſs der Teil $\alpha\varepsilon$ jede der beiden Säulen $\alpha\gamma$, $\varepsilon\zeta$ mit seinem halben

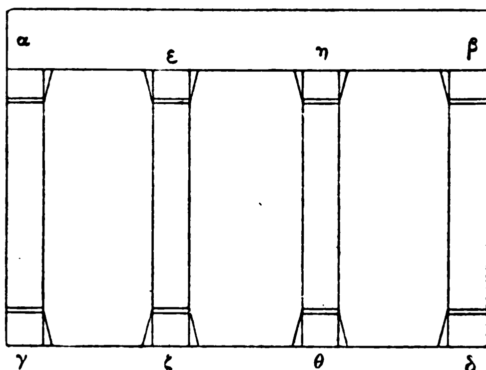


Fig. 13.

Gewichte und der Teil $\varepsilon\beta$ jede der beiden Säulen $\varepsilon\beta$, $\beta\delta$ mit seinem halben Gewichte trifft, weil es keinen Unterschied für das, was die Säulen trifft, macht, ob der daraufgelegte Gegenstand zusammenhängend oder unterbrochen ist; denn mag er zusammenhängend oder unterbrochen sein, er ruht ganz auf der Säule. Auf die Säule $\varepsilon\zeta$ kommt also die Hälfte des Gewichtes von $\varepsilon\beta$ und die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\varepsilon$, d. i. die Hälfte des ganzen Gewichtes von $\alpha\beta$; und auf die Säule $\alpha\gamma$ kommt die Hälfte des Gewichtes von $\alpha\varepsilon$, auf $\beta\delta$ die Hälfte von $\varepsilon\beta$. Teilen wir nun die Hälfte von $\alpha\beta$ im Verhältnis des Abstandes $\alpha\varepsilon$ zum Abstande $\varepsilon\beta$, so fällt das Gewicht des $\alpha\varepsilon$ proportionalen Teiles auf $\alpha\gamma$ und das der Entfernung $\varepsilon\beta$ entsprechende Gewicht auf $\beta\delta$.

Stellen wir nun noch eine Säule auf, $\eta\vartheta$, so ergiebt sich, daſs auf $\alpha\gamma$ die Hälfte von $\alpha\varepsilon$, auf $\beta\delta$ die Hälfte von $\eta\beta$, auf $\varepsilon\zeta$ die Hälfte von $\alpha\eta$ und auf $\eta\vartheta$ die Hälfte

ملاقاته لهما على علامة تقاطعهما يجب ان يكون بعض الخطّ فى سطح وباقيه فى سطح([1] آجر فاذًا جميع الخطوط التى للعلاقة تجتمع الى علامة واحدة وهى التى تسمى مركز الميل والثقل ⊙

[٢٥] وقد يجب باضطرار ان نوضح شيئًا فى الكبس والثقل والحمل على جهة الكميّة ما يكون يصلح للمدخل فان ارشميدس قد استعمل فى هذا الجزء صناعة متّقنة فى كتابه المسمّى كتاب القوائم ونحن نضع ما نحتاج اليه منه فى اشياء اخر وامّا الآن فانّا نستعمل من ذلك ما كان على قدر([2] الكمية على ما يصلح للمتعلمين والجهة فى ذلك هى هذه اذا كانت اساطين كم كانت وكان عليها عوارض او حائط ما وكان موضوعا* عليها وضعا([3] متساويا او كان مختلف الوضع على اطرافها وكان زائدا على احد الطرفين او على الطرفين جميعا وكان البعد الذى بين الاساطين متساويا او مختلفا فانّا نريد ان نعرف كم ينال كل واحدة من الاساطين من الثقل ومثال([4] ذلك انه([5] اذا كانت خشبة طويلة مجتمعة الثقل وكان رجال يحملونها متساويين فى طول الخشبة وفى اطرافها ويكون احد اطرافها فاضلا او جميعها فانّا([6] نريد ان نعرف كل واحد من الرجال كم يناله([7] من الثقل فان المطلوب فى جميعها واحد ⊙

Also vereinigen sich alle Linien, die zum Aufhängen dienen, in einem Punkte, nämlich demjenigen, der Neigungs- und Schwerpunkt genannt wird.

25 Es ist nun dringend notwendig einige Erklärungen über den Druck, den Transport und das Tragen mit Rücksicht auf die Quantität zu geben, wie sie sich zu einer Einleitung eignen. Denn Archimedes hat bereits über diesen Teil ein sicheres Verfahren in seinem Buche, das den Titel „Buch der Stützen“ führt, eingeschlagen. Wir wollen davon das übergehen, was wir für andre Dinge nötig haben und jetzt davon das, was sich auf den Betrag der Quantität bezieht, benützen, wie es sich für die Studierenden eignet. Der allgemeine Gesichtspunkt hierbei ist dieser: Wenn man beliebig viele Säulen hat und auf diesen Querbalken oder eine Mauer liegen, und zwar in gleicher oder verschiedener Lage auf den beiden äufsersten derselben (der Säulen), so dafs sie über eine derselben oder beide zugleich hinausragen, und wenn die Entfernung zwischen den Säulen gleich oder verschieden ist, so wollen wir erfahren, wieviel von der Last jede der Säulen trifft. Ein Beispiel dafür ist folgendes: Wenn man einen langen Balken von gleichmäfsigem Gewicht hat, den gleichmäfsig auf die Länge und die Enden des Balkens verteilte Männer tragen, und eines oder beide der Enden überragt, so wollen wir von jedem Manne wissen, wieviel von der Last auf ihn kommt; denn die Frage ist in beiden Fällen gleich.

26 Es liege also eine gleichmäfsig dicke und gleichmäfsig dichte Last, $\alpha\beta$, auf Säulen. Sie liege auf zwei Säulen, nämlich $\alpha\gamma$ und $\beta\delta$; so trifft jede der beiden Säulen $\alpha\gamma$, $\beta\delta$ die Hälfte der Last $\alpha\beta$. Sei nun noch eine dritte Säule $\varepsilon\zeta$ vorhanden, und teile sie die Entfernung $\alpha\beta$ beliebig; so wollen wir von jeder der Säulen $\alpha\gamma$, $\varepsilon\zeta$,

---

1) B om. 2) LC om. 3) LC om. 4) BCL ومثل
5) BCL ايضا K om. 6) Codd. om. 7) B ينوبه

على ذلك الخطّ فاذا اخرج ذلك الخطّ فانّه ينفذ فى الجسم فان وقع الخطّ المخرج خارج الجسم فانّ السطح المخرج عليه يقع ايضا خارج الجسم وذلك قد ظهر انّه غير ممكن فاذًا الخطّ ينفذ فى الجسم ويقسمه بقسمين معتدلين فان توهّمنا علامة[1] الاعتدال علامة اخرى ايضا غير تلك فانّه قد يعرض فى ذلك ايضا مثل الذى عرض فى الاول اعنى ان يكون الخطّ المخرج على تلك العلامة ينفذ فى وسط الجسم فيكون الخطّان متباينين فاذا اخرج عليهما سطحان لم يتقاطعا فانّه قد يمكن ان يخرج على خطين سطحان لا يتقاطعان فيعرض فى هذا مثل الذى عرض فى الاول فيكون هذا غير ممكن فمن اجل هذا نعلم ان السطوح تتقاطع والخطوط تتلاقى فتكون فى سطح واحد فاذا اخرج ذلك السطح الى بسيط الجسم فانّه يفعل خطّا على علامات[2] التقاطع فتكون علامة ثالثة واقعة خارجا عن[3] هذا الخط ونتوهم هذه العلامة علامة[4] المعادلة ايضا يكون الجسم معتدلا عليها ونخرج من العلامة خطّا* فى وسط الجسم[5] فللذى تقدّم من قولنا اذا اخرج هذا الخطّ يقع على ذلك الخطين[6] اللذين[7] اخرج السطح[8] عليهما[9] ولا يقع على علامة اخرى غير علامة تلاقيهما لانّه اذا لاقى خطّ ما خطّين متقاطعين وهو فى سطح* آخر فانّه يلاقيهما على علامة تقاطعهما فان لم تكن

aufserhalb desselben; das ist, wie wir eben gesehen, unmöglich. Also geht die Linie durch den Körper und teilt ihn in zwei das Gleichgewicht haltende Teile. Nehmen wir nun als Gleichgewichtspunkt einen anderen als diesen Punkt an, so zeigt sich hierbei dasselbe wie bei dem ersten, dafs nämlich die durch jenen Punkt gezogene Linie mitten durch den Körper geht, so dafs die beiden Linien von einander entfernt sind. Wenn nun durch dieselben zwei Ebenen gelegt werden, so schneiden sich dieselben nicht; denn man kann durch zwei Linien zwei Ebenen legen, die sich nicht schneiden. Es tritt also hier dasselbe ein wie im ersten Fall; es ist also nicht möglich. Daran sieht man, dafs die Ebenen sich schneiden und die Linien sich treffen, so dafs sie in eine Ebene fallen.

Wenn nun diese Ebene nach der Oberfläche des Körpers gezogen wird, so macht sie den Schnittpunkten gemäfs eine Linie. Dann giebt es einen dritten aufserhalb dieser Linie fallenden Punkt. Nehmen wir nun diesen Punkt ebenfalls als Gleichgewichtspunkt an, über welchem der Körper im Gleichgewicht ruht, und ziehen wir durch diesen Punkt eine Stützlinie, so wird diese Linie, nach dem bereits Gesagten, wenn sie gezogen wird, auf jene zwei Linien, durch welche die Ebene gelegt wurde, stofsen, aber nicht auf einen anderen Punkt, aufser ihrem Schnittpunkt. Denn wenn irgend eine Linie zwei sich schneidende Linien trifft, jene aber in einer anderen Ebene liegt, so trifft sie dieselben in ihrem Schnittpunkte. Wenn aber ihr Zusammentreffen mit den beiden nicht in ihrem Schnittpunkte stattfindet, so liegt notwendigerweise ein Teil der Linie in einer Ebene, und der Rest in einer anderen.

---

1) B om. 2) Codd. علامة 3) Codd. على 4) Codd. om. 5) Codd. على بسيط الجسم 6) Codd. الخطّ 7) Codd. الذى 8) BCL السطحان K السطحين 9) Codd. عليه

كقدر ابعادها المبادلة من العلامات التى هى معلّقة عليها امّا ان تكون الاثقال المعلقة على هذه الجهة متعادلة الميل[1] فان ارشميدس قد بين ذلك فى كتبه فى المعادلات فى الاشكال التى تستعمل فيها الامخال وقد يعرض للعلاقات والقوائم شىء واحد لان العلاقة والقائمة بالقوّة هما شىء واحد فان القوائم التى يتعلق فيها الثقل هى التى تحمل الثقل وقد يعرض ان تكون هذه القوائم كثيرة جدّا غير متناهية الكثرة فامّا مركز الميل فانّه فى كل * واحد من الاجسام علامة ما[2] واحدة تميل اليها القوائم التى من العلاقات وقد تكون مراكز الميل فى بعض الاجسام خارجا عن جواهرها كما قد يعرض فى الحنايات والاسورة امّا ان تكون خطوط العلاقات تجتمع الى نقطة واحدة مشتركة لها فانّ ذلك يتبيّن لنا اذا توهّمنا سطحا ما قائما على الافق وكان يقطع جسما ما باعتدال فانّه يظهر لنا ان ذلك السطح يقسم به الجسم بنصفين فانّه اذًا ينفذ فى الجسم واذا توهّمنا ايضا سطحا اخر يقطع الجسم مثل ذلك السطح[3] فانّه ينفذ فيه كنفاذ هذا السطح ويتقاطعان السطحان على خط فان وقع التقاطع على غير العلاقة عرض من ذلك ان تكون الاجسام متعادلة وغير متعادلة فلننقل الآن هذا القول الى القوائم ونتوهم جسما قائما على * خطّ قائم على[4] سطح وليكن الجسم معتدل الاجزاء قائما

Figuren, bei denen Hebel zur Anwendung kommen, bewiesen.

Aufhänger und Stützen weisen dieselben Erscheinungen auf, weil der Aufhänger und die Stütze einer Kraft (oder: und die Stütze der Kraftleistung nach?) dasselbe sind, denn die Stützen, auf die eine Last gelegt wird, sind es, die die Last tragen. Derartige Stützen können sehr zahlreich, ja unbegrenzt an Zahl sein.

Was nun den Neigungsmittelpunkt angeht, so ist er ein einziger Punkt in jedem von den Körpern, zu dem die von den Aufhängepunkten (zum Horizont) senkrechten Linien hinneigen. Manchmal liegen auch die Neigungsmittelpunkte bei einzelnen Körpern aufserhalb ihrer Substanz, wie es bei Rädern und Ringen der Fall ist. Dafs nun die Aufhängelinien sich in einem ihnen gemeinsamen Punkte treffen, wird uns klar werden, wenn wir uns eine auf dem Horizont senkrechtstehende Ebene denken, und dieselbe irgend einen Körper nach dem Gleichgewicht schneidet. Denn es zeigt sich uns, dafs der Körper durch die Ebene in zwei Hälften geteilt wird; dann geht dieselbe also durch den Körper. Wenn wir nun noch eine andre Ebene denken, die den Körper wie jene Ebene schneidet, so durchdringt sie ihn wie jene Ebene und die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie. Denn ginge die Schnittlinie nicht durch den Aufhängepunkt, so zeigte es sich, dafs dieselben Körper im Gleichgewicht und nicht im Gleichgewicht seien.

Wenden wir jetzt diese Schlufsfolgerung auf die Stützen an. Denken wir uns einen Körper auf einer Linie liegen, die auf einer Ebene senkrecht steht, und es liege der Körper im Gleichgewicht seiner Teile auf dieser Linie. Wenn nun diese Linie verlängert wird, so geht sie durch den Körper. Denn fällt die verlängerte Linie aufserhalb des Körpers, so fällt auch die durch sie gelegte Ebene

---

1) BCL للميل 2) B om. 3) Codd القطع 4) CLK om.

بحد طبيعى[1] فقال ان مركز الثقل او الميل هو علامة ما اذا علّق الثقل بها كان منقسما بقسمين متساويين فمن اجل ذلك ارشميدس ومن اقتدى به من اهل صناعة الحيل ميّزوا هذا القول وفصلوا بين العلاقة وبين مركز الميل امّا العلاقة* فانّها علامة[2] ما على الجسم او غير الجسم اذا علق بها[3] المعلق تعادلت اجزاؤه اعنى بذلك ان لا يترجّح ولا يميل فانّ المعادلة هى اذا عادل شىء شيأً كما قد يعرض فى الموازين[4] اذا كانت مضطربة موازية* لسطح الافق او سطح ما كان موازيا[5] له كما قال ارشميدس ان الاثقال تكون غير مائلة على خطّ وعلامة امّا على خطّ اذا كان الثقل على علامتين من ذلك الخطّ فلم يكن يميل الخط وكان السطح الخارج على ذلك الخطّ القائم على الافق كيف حوّل[6] الخط كان قائما فانّه[7] لا يميل الثقل[8] على الخطّ بتّة فامّا اذا قلنا الثقل مائل فانّا انّما نريد انحطاطه الى السفل اى حركته الى ما يلى الارض وامّا المعادلة التى تكون على العلامة فانّها قد تكون اذا كان الثقل معلّقا بها وكان الجسم فى كل حركة تحرك متساوية اجزاؤه بعضها ببعض والثقل يعادل ثقلا اخر اذا كان عند تعليقهما على علامتين من خطّ مقسوم بنصفين وعلى العلامة التى قسم عليها كان الخطّ موازيا للافق بعد ان تكون اقدار الاثقال بعضها الى بعض

und seine Anhänger in der Mechanik diesen Satz spezialisiert und einen Unterschied gemacht zwischen dem Aufhängepunkt und dem Schwerpunkt. Was nun den Aufhängepunkt betrifft, so ist es ein solcher Punkt auf dem Körper oder Nichtkörper, dafs, wenn der aufzuhängende Gegenstand daran aufgehängt wird, seine Teile sich im Gleichgewicht befinden, damit meine ich, dafs er nicht schwankt und sich nicht neigt. Denn Gleichgewicht tritt ein, wenn ein Gegenstand dem andern an Gewicht gleich ist, wie es bei den Wagen der Fall ist, wenn sie parallel der Ebene des Horizontes oder einer derselben parallelen Ebene schwanken. So sagt Archimedes: Lasten neigen sich nicht auf einer Linie und auf einem Punkte. Auf einer Linie wird, wenn die Last auf zwei Punkten jener Linie ruht, so dafs die Linie sich nicht neigt, und die durch jene Linie senkrecht zum Horizont gelegte Ebene, wie immer auch die Linie bewegt werden mag, senkrecht bleibt, die Last sich durchaus nicht neigen. Wenn wir sagen: die Last neigt sich, so meinen wir damit nur ihr Sichsenken nach unten, d. h. ihre Bewegung nach der Erde zu. Was aber das Gleichgewicht auf einem Punkte betrifft, so tritt es ein, wenn die Last in demselben aufgehängt ist, und die Teile des Körpers bei jeder Bewegung, die er macht, gleichmäfsig zu einander liegen. Eine Last hält einer anderen das Gleichgewicht, wenn sie an zwei Punkten einer in zwei Hälften geteilten Linie und in dem Teilungspunkt dieser Linie aufgehängt sind, und diese Linie dem Horizont parallel ist, nachdem die Beträge der Lasten zu einander im Verhältnis stehen wie die Beträge ihrer verwechselten Abstände von ihren Aufhängepunkten. Dafs in dieser Weise aufgehängte Lasten einander das Gleichgewicht in der Neigung halten, hat Archimedes in seinen Schriften über das Gleichgewicht an

---

1) K الحدّ الطبيعى 2) B om. 3) K بهذا 4) BCL الميزان 5) B om. 6) B حرّك 7) Codd. om. 8) Codd. om.

ذلك الضلع اعنى ضلع الاسطوانة سطحا آخر قائما على الافق فانّه لا يكون السطح المخرج الاوّل يقسم الاسطوانة بقسمين مختلفين يكون اصغرهما ممّا يلى الجهة العليا واعظمهما ممّا يلى الجهة السفلى فيقوى اعظمهما على اصغرهما ذ[1] كان اعظم منه فتندحرج الاسطوانة فان توهّمنا فى الجهة الاخرى من السطح المخرج القائم على الافق انّه قد نقص من القسم الاعظم قدر زيادته على القسم الاصغر فان القسمين يعتدلان فيكون ثقل جميعهما ثابتا على ذلك الضلع المماسّ للارض فلا يميل الى جهة من الجهات اعنى لا الى ما يلى العلو ولا الى ما يلى السفل فنحتاج حينئذ الى قوّة معادلة له تقاومه فاذا زيد[2] على تلك القوّة زيادة ما يسيرة قويت على الثقل ⊙

[٢٤] وقد ارى انّه يجب باضطرار ان نخبّر متعلمى صناعات الحيل ما ذا الميل وما مركز الثقل فى جسم[3] كان ذلك او فى[4] غير جسم وأمّا أنْ يكون[5] الميل والانحراف لايقال بالاستحقاق الّا فى الاجسام فان ذلك ليس يدفعه احد فان قلنا فى الاشكال المساحية المجسّمة والسطوحية انّ مركز الميل ومركز الثقل علامة ما فان ذلك قد اوضحه ارشميدس بما فيه كفاية فينبغى ان يفهم هذا على ما هوذا نخبّر به انّ بوسيدونيوس الذى من اصحاب الرواق قد حدّ مركز الميل والثقل[6]

Cylinders, eine Ebene senkrecht zum Horizont, so wird sie nicht die zuerst gelegte Ebene sein, und den Cylinder in zwei verschiedene Teile teilen, deren kleinerer nach oben, und deren gröſserer nach unten zu liegt. So hat der gröſsere das Übergewicht über den kleineren, da er gröſser ist als er, und der Cylinder rollt. Wenn wir uns nun auf der anderen Seite der senkrecht zum Horizont gelegten Ebene, von dem gröſseren Teile den Betrag seines Übergewichts über den kleineren weggenommen denken, so halten sich die beiden Teile das Gleichgewicht, und das Gewicht beider verharrt auf der den Boden berührenden Linie, ohne sich nach irgend einer Seite zu neigen, nämlich weder nach oben, noch nach unten. Wir bedürfen also einer dieser Differenz äquivalenten Kraft, die ihm Stand hält. Wenn aber dieser Kraft ein geringer Überschuſs hinzugefügt wird, so erlangt sie das Übergewicht über die Last.

24 Ich halte nun dafür, daſs es notwendig erforderlich ist, die der Mechanik Beflissenen darüber aufzuklären, was die Schwerkraft und was der Schwerpunkt ist, sei es nun bei einem Körper oder bei einem Nichtkörper. Daſs man von Schwerkraft und Neigung in Wahrheit nur bei Körpern redet, wird niemand abweisen. Wenn wir aber bei geometrischen Figuren, körperlichen und ebenen, sagen, daſs der Neigungs- und der Schwerpunkt ein gewisser Punkt sei, so hat das Archimedes zur Genüge erläutert. Man muſs es also verstehen auf Grund dessen, was wir jetzt darüber auseinandersetzen. Posidonius, ein Stoiker, hat den Schwer- und Neigungspunkt in einer natürlichen (physikalischen?) Definition bestimmt und gesagt: der Schwer- oder Neigungspunkt ist ein solcher Punkt, daſs, wenn die Last in demselben aufgehängt wird, sie in zwei gleiche Teile geteilt wird. Deshalb haben Archimedes

1) Codd. اذا 2) Codd. ازيد 3) LCK الجسم 4) B om. 5) L وليكن C وان يكون 6) BL om.

العليا فالقوّة اذا المحرّكة للحمل ان كانت اعظم من الحمل فانّها تقوى عليه وتحرّكه الّا ان تعرض خشونة فى تدوير الحناية او صلابة فى القلوس فيكون من ذلك امتناع الحركة ⊙

[٢٣] فامّا الاثقال التى على السطوح المائلة فانّ طبيعتها ان تميل الى السفل ايضا كما قد تكون حركة جميع الاجسام فان لم يكن هذا كما ذكرنا فينبغى[1] ان نتوهّم فيه ايضا العلّة التى ذكرناها قبل هذا فلنفرض انّا نريد ان نحرّك ثقلا ما[2] على سطح مائل الى ما يلى العلوّ ولتكن ارضه لينة ملسة وكذلك ايضا جزء الثقل الذى تدعمه فنحتاج فى هذا ان نكتسب قوّة ما او ثقلا ما من الجهة الاخرى ليقوى اوّلا على الثقل اعنى ان يعادله لتكون القوّة الزائدة عليه تقوى على الثقل فترفعه الى ما[3] فوق ولان يصح[4] قولنا نبيّن ذلك فى اسطوانة موضوعة فان الاسطوانة من اجل انّه لا ينال الارض منها كبير[5] جزء فانّها فى طبيعتها ان[6] تتدحرج الى اسفل فلنتوهم سطحا ما خارجا على[7] الضلع الذى يماسّ الارض قائما على تلك الارض فيظهر لنا انّ ذلك السطح يجوز على محور الاسطوانة ويقطعها بنصفين لانّه اذا كانت دائرة ما يماسّها خطّ واخرج من علامة المماسّة خطّ على زاوية قائمة فانّ ذلك الخطّ يقع على مركز الدائرة وايضا نخرج على

wicht gleich der ersten Last ist. Wird aber dem Gewicht ein geringer Betrag hinzugefügt, so wird das andre Gewicht nach oben gezogen. Wenn also die die Last bewegende Kraft gröſser als die Last ist, so ist sie stark genug dafür und bewegt sie, auſser wenn sich Reibung bei dem Drehen der Rolle oder Steifigkeit bei den Seilen einstellt, so daſs daraus ein Hindernis für die Bewegung entsteht.

23 Was nun die auf schiefen Ebenen befindlichen Lasten angeht, so haben sie das natürliche Bestreben sich gleichfalls nach unten zu bewegen, wie es die Bewegung aller Körper ist. Wenn sich das nicht so wie erwähnt verhält, so müssen wir auch hier an die bereits vorhin erwähnte Ursache denken. Nehmen wir also an, wir wollten eine Last auf einer schiefen Ebene nach oben bewegen. Ihr Boden sei glatt und eben, gleichfalls so auch der Teil der Last, den er unterstützt. Zu dem Zwecke müssen wir auf der anderen Seite eine Kraft oder ein Gewicht anbringen, daſs es zunächst der Last gleichkomme, d. h. ihr das Gleichgewicht halte, damit der Überschuſs der Kraft über dieselbe stark genug sei für die Last und sie nach oben hebe. Damit unsere Behauptung sich als recht erweise, wollen wir sie an einem gegebenen Cylinder beweisen. Da kein groſser Teil des Cylinders den Boden berührt, so hat er das natürliche Bestreben nach unten zu rollen. Denken wir uns nun eine Ebene, die durch die Linie, welche den Boden berührt, geht und senkrecht auf diesem Boden steht, so ergiebt sich, daſs diese Ebene durch die Achse des Cylinders geht, und denselben in zwei Hälften teilt; denn wenn eine Linie einen Kreis berührt, und man im Berührungspunkte eine Senkrechte errichtet, so geht diese durch den Kreismittelpunkt. Legen wir ferner durch dieselbe Linie, nämlich die Linie des

1) L ينبغي 2) LK om. 3) Codd. om. 4) K يصلح
5) LK كثير 6) L om. 7) K عن

فلا تماسّ من السطح الّا جزءا يسيرا ولا يعرض من ذلك من الخشونة الّا اقلّ ذلك ويستعملون الاوتاد فيتحرّك الثقل عليها بسهولة على انّه قد زيد[1] على الثقل ثقل الاداة واقوام يرصون[2] على السطح[3] الواحا[4] منحوتة لملاستها ويطلونها بدسم لان تتملّس الخشونة التى عليها فيحرّكون الثقل بايسر قوّة فامّا الاساطين فانّها اذا كانت ثقالا وكانت ملقاة على الارض حتى لا ينال الارض منها الا ضلع واحد فانّها تتحرك بسهولة وكذلك ايضا الاكرّ وهذا قد تقدّم فى قولنا ⊙

[٢٢] فان اردنا ان نحمل الثقل الى جهة عليا فانّا عند ذلك نحتاج الى قوّة مساوية للثقل فلنتوهّم حناية[5] متعالية متحرّكة قائمة على سطح ولتكن متحرّكة[6] على مراكز على محور حركة سهلة وليكن على بسيط حافتها حبل يكون احد طرفيه مشدودا بالحمل وطرفه الاخر عند القوّة الجاذبة فاقول انّ ذلك الثقل يتحرّك بقوة مساوية له ولا يكون عند طرف الحبل الاخر قوّة بل يكون ثقل اخر مشدودا فيه فيظهر لنا انّ الاثقال اذا كانت متساوية فانّ الحناية لا تميل الى جهة من الجهات ولا يقوى الثقل[7] الاول على الثقل المرتبط الثانى ولا الثقل على الحمل لان الثقل المشدود الثانى مساو للحمل الاول فاذا زيد فى الثقل قدر ما يسير فانّ الثقل الاخر ينجبذ الى الجهة

daran hindert; denn wenn sie zahlreich und eng miteinander verbunden sind durch die gegenseitige Vereinigung, bedarf es einer vereinten, grofsen Kraft. Aus der Erfahrung zog man nun die Lehre; man fing nämlich an unter die „Schildkröten“ Holzstücke, deren Oberfläche cylindrisch geformt ist, zu legen, die nur einen kleinen Teil der Ebene berühren, weshalb nur die allergeringste Reibung eintritt. Man benutzt nun Pfähle, sodafs sich die Last leicht darauf bewegen läfst, unter der Bedingung, dafs die Last sich um das Gewicht des Gerätes vermehrt. Andere befestigen gehobelte Bretter auf dem Boden, wegen ihrer Glätte und beschmieren sie mit Fett, damit die darauf vorhandene Rauheit geglättet werde, und bewegen dann die Last mit ganz geringer Kraft. Was nun die Cylinder betrifft, so lassen sie sich, wenn sie schwer sind und so auf der Erde liegen, dafs nur eine einzige Linie die Erde berührt, mit Leichtigkeit bewegen, und ebenso die Kugeln, worüber wir schon gesprochen haben.

22 Wenn wir nun eine Last nach einem höheren Orte heben wollen, so bedürfen wir einer der Last gleichen Kraft. Denken wir uns eine, in der Höhe angebrachte, bewegliche Rolle, senkrecht zur Ebene, die sich um die Mittelpunkte auf einer Achse leicht bewegen läfst. Um ihre Randfläche liege ein Seil, dessen eines Ende an der Last befestigt sei; das andre befinde sich bei der ziehenden Kraft. Nun behaupte ich, dafs diese Last sich durch eine ihr gleiche Kraft bewegen läfst. Sei an dem anderen Ende des Seiles keine Kraft, sondern ein andres Gewicht befestigt, so wird es sich uns zeigen, dafs die Rolle, wenn die Gewichte gleich sind, sich nicht nach irgend einer Seite bewegt, und dafs das erste Gewicht nicht stark genug ist für das zweite angebundene, noch das Gewicht für die Last, weil das zweite angebundene Ge-

1) BCL يريد 2) B يرصفون 3) B سطح 4) Codd. الواح 5) B حنافة K حنانة 6) B om. 7) LC om.

يحتاج الى[1] قوّة تدعمه لئلّا يتحرك فاذا صار الثقل ايضا معتدلا غير مائل الى جهة من الجهات فانّه بهذا بلا ان تكون له قوّة تدعمه فلا يزال هادنا الى ان يميل السطح[2] الى اىّ جهة كانت فانّه يميل الى تلك الجهة* فالثقل[3] المتهيأ[4] للذهاب الى كلّ جهة[5] كيف لا تكون حاجته فى ان يتحرك الى قوّة يسيرة قدر القوة التى تميله فاذا الثقل يتحرك بكلّ قوة يسيرة ⊙

[٢١] فالمياه التى على السطوح غير المائلة[6] فانّها تكون غير سائلة بل تكون ثابتة لا تميل الى جهة من الجهات فاذا نالها اقلّ ميل فان جميعها يميل الى تلك الجهة حتى لا يبقى اقلّ جزء من الماء ثابتا عليه الّا ان يكون فى السطح اغوار فتبقى اجزاء يسيرة فى قعر الاغوار كما قد يعرض فى الآنية ولكن الماء قد ناله هذا لانّ اجزاءه غير متصلّة شديدة التحلّل[7] وامّا الاجساد[8] المتصلة فمن اجل انّها فى طبعها غير ملسة فى بسائطها ولا يملسها سهل فانّه يعرض من خشونة الاجساد[8] ان[9] يدعم بعضها بعضا فيعرض من ذلك ان يستند[10] احدها بالآخر كالاضراس فتمنع من ذلك لانّها اذا تكاثرت واتّصلت فاجتماع بعضها الى بعض تحتاج الى اجتماع قوّة عظيمة فمن التجربة صار[11] لهم[12] معلّم صاروا يصفون تحت اللجآت[13] خشبا تكون بسائطها فى هيئة الاساطين

wenn auch die Neigung eine ganz geringe ist; also benötigt die Last nicht einer Kraft, die sie bewegt, sondern einer Kraft, die sie stützt, damit sie sich nicht bewege. Wenn nun die Last ebenfalls ins Gleichgewicht zurückkehrt, und sich nicht nach irgend einer Seite neigt, so bleibt sie dabei, ohne dafs eine Kraft vorhanden ist, die sie stützt, und verharrt in Ruhe, bis sich die Ebene nach irgend einer Seite neigt, und dann neigt sie sich nach dieser Richtung. Bedarf also nicht die Last, die nach jeder beliebigen Richtung sich zu wenden bereit ist, einer nur geringen Kraft, um sich zu bewegen, und zwar im Betrage der Kraft, die sie zum Neigen bringt? Also läfst sich die Last durch jede geringe Kraft bewegen.

21 Die Gewässer nun, die sich auf nicht geneigten Ebenen befinden, fliefsen nicht, sondern sind still, ohne sich nach irgend einer Seite zu neigen. Wenn ihnen aber auch nur die geringste Neigung zu teil wird, so fliefsen sie allesamt nach dieser Seite, so dafs auch nicht der geringste Teil von dem Wasser darauf bleibt, es müfsten denn gerade Vertiefungen in der Ebene sein, so dafs geringe Teile in der Grube dieser Vertiefungen blieben, wie es manchmal bei Gefäfsen vorkommt. Bei dem Wasser aber tritt dies ein, weil seine Teile nicht zusammenhängend, sondern leicht trennbar sind. Weil aber die zusammenhängenden Körper ihrer Natur nach nicht glatt auf ihren Oberflächen sind, und sich nicht leicht ebnen lassen, so kommt es durch die Rauheit der Körper, dafs einer den andern stützt, und daher kommt es wieder, dafs sie sich an einander anlehnen wie Zahngetriebe, so dafs man sie

---

1) L om. 2) Codd. التقل 3) BCL بالتقل 4) BCL المنهى 5) B om. 6) Codd. العير مائلة 7) B التحليل K التحلحل 8) B الاجسام 9) K add. لم 10) B يشتنك 11) Codd. صارت 12) B om. L اتم 13) Codd. الاحابات

خطّ طم مساويا لخطّ ال ونخرج خطّ من موازيا لخطّ حك وليكن خط لس[1] مساويا لخطّ طن فى دائرة الفلكة الاخرى ونصل علامتى سا ونقسم دائرة لس من علامة س بعدد كثرة الاسنان وليكن سع قسما واحدا ولنصل ع ب فيكون حفر السنّ[2] على خطّى اس بع فلتكن كذلك الاسنان الأخر[3] ⊙

[٢٠] وقد ظن قوم ان الاثقال الموضوعة على الارض تتحرّك بقوّة معادلة لها باستعمالهم الاراء الكاذبة فلنبيّن أنّ الاثقال التى وضعها على ما وصفنا تتحرّك بقوة اقل من كلّ[4] القوة المعلومة ونوضح العلّة التى لها صار ذلك غير ظاهر فى العمل فلنتوهّم حملا ما موضوعا على الارض وليكن معتدلا املس مجتمعا[5] بعضه[6] الى بعض وليكن السطح الذى الثقل عليه يمكن ان يميل الى كلّ[7] الجهتين اعنى اليمنى واليسرى فليكن اوّلا مائلا الى اليمنى فيظهر لنا انّ الثقل المفروض يميل الى الجهة اليمنى لانّ الاثقال طبيعتها ان تتحرّك الى السفل ان لم يدعمها شىء فيمنعها من الحركة وايضا اذا استقلّت الجهة المائلة الى السطح وصار معتدلا فانّه يصير[8] الثقل بهذا محفوظا[9] فان مال الى الجهة الاخرى اعنى الى الجهة اليسرى فانّ الثقل ايضا ينحط الى[10] الجهة المائلة وان كان الميل يسيرا جدّا فلا[11] يحتاج الثقل الى* قوّة تحركه لكن

Linie $\vartheta\mu$ gleich der Linie $\alpha\lambda$ und ziehen wir die Linie $\mu\nu$ parallel zur Linie $\eta\varkappa$, sei ferner die Linie $\lambda\sigma$ gleich der Linie $\vartheta\nu$ auf dem anderen Kreis des Rades, und verbinden wir die beiden Punkte σ und α, und teilen den Kreis $\lambda\sigma$ vom Punkte σ aus gemäfs der Anzahl der Menge der Zähne, und sei σo ein solcher Teil. Ziehen wir nun $o\beta$, so ist die Grube des Zahnes durch die beiden Linien $o\beta$ und $\alpha\sigma$ bestimmt. Ebenso geschehe es bei den übrigen Zähnen.

20 Manche Leute glauben, die auf der Erde liegenden Lasten liefsen sich nur durch eine ihnen äquivalente Kraft bewegen, indem sie falschen Anschauungen huldigen. Beweisen wir also, dafs in der beschriebenen Weise gelagerte Lasten sich durch eine geringere als jede bekannte Kraft bewegen lassen, und erläutern wir den Grund, aus welchem diese Erscheinung nicht in der That offenbar wird. Denken wir uns also eine Last auf der Erde liegen, sie sei ebenmäfsig, glatt und in ihren Teilen zusammenhaftend; die Ebene, auf der die Last liegt, könne nach beiden Seiten, nämlich nach rechts und links sich neigen. Sie neige zuerst nach rechts; dann zeigt es sich uns, dafs die gegebene Last nach der rechten Seite neigt, weil es das natürliche Bestreben der Lasten ist, sich nach unten zu bewegen, wenn sie nicht etwas stützt und sie an der Bewegung hindert. Wenn sich ferner die geneigte Seite wieder zur horizontalen Ebene erhebt, und (die ganze Ebene für sich allein betrachtet) ins Gleichgewicht kommt, so wird die Last in dieser Lage erhalten bleiben. Wenn sie sich nun nach der anderen, d. i. nach der linken Seite neigt, so wird sich auch die Last nach der gesenkten Seite neigen,

---

1) K om. 2) K الاسنان 3) Codd. وكذلك فلنكن الاسنان مجتمع K يجتمع 5) L الاخرى K الاخر 4) B om. 6) LK بعضها 7) K كلتى 8) B om. LC يميز 9) B محفوظ LCK om. 10) Codd. om. 11) LK لئلا

حافة الفلكة بعشرين جزءا اقساما[1] متساوية ونخرج* على علامة احد الاقسام خطّا مائلا على قدر ميل الدوائر اللولبية ونقسم[2] ما يلى الجهة الاخرى من الفلكة بمثل هذه الاقسام ونصل هذه العلامات بخطوط تكون[3] على بسيط حافة الفلكة ثمّ نحفر الاسنان فتكون الدوائر اللولبية مهندمة فتتراكب[4] عليها اسنان الفلكة فامّا كيف ينبغى ان يكون تعويج[5] الاسنان[6] التى فى حافة الفلكة عند التدوير فانّا[7] نعمل ميل[8] الاسنان التى[9] على بسيط حافة الفلكة* ميلا يتراكب[10] فى حفر الدوائر اللولبية فانّا الآن نبيّنه فلنفرض فلكة وليكن البعد الذى لاحد الاسنان خطّ اب وليكن الحفر اللولبىّ الذى على اللولب خطّ جد بين خطين موازيين[11] لقاعدة الشكل الاسطوانىّ وهما جز هد ولنفرض خطّين يقوم[12] احدهما على الآخر على زاوية قائمة وهما خطّا حط طك وليكن خطّ ده مساويا لخطّ حط وخطّ جه مساويا لخط طك ولنصل علامتى حك ونخرج من علامة ا خطّا قائما على الفلكة فى ثخن الفلكة وهو خطّ ال فيكون[13] خط ال ثخن الفلكة وليكن

1) BC قسمة   2) C om.   3) K om.   4) K تتراكب
5) C التقويم   6) K التعويج للاسنان   7) K om.   8) Codd. مثل   9) Codd. om.   10) K مثل ما يتراكب   11) B add. يعنى دائرتين متوازيتين   12) K om.   13) BC وليكن

Schraube eingreifen müssen, weil σo gleich $\gamma\delta$ ist. In Wirklichkeit aber greifen sie nicht ein, weil der Abstand des äufseren Teils der Schraubenwindungen gleich ist den inneren Abständen der Schraubengänge, bei den Zähnen aber der Abstand zwischen ihren äufseren Punkten gröfser ist als zwischen den tiefer gelegenen inneren. Da aber der Unterschied hierbei nicht merklich ist, so entsteht daraus kein Hindernis für die Arbeit. Ferner darf man die Ausschnitte für die Zähne an der Oberfläche der Stirnseite des Rades nicht senkrecht machen, wie wir es lehren für die Zahnräder, deren Zähne wir ineinander eingreifen lassen wollen, sondern wir machen sie schief, sodafs die Zähne immer in die ganze Stelle der Schraubenhöhlung eingreifen. Dies ergiebt sich uns, wenn wir einen Kreis am Rande des Rades in zwanzig einander gleiche Teile teilen und von einem Teilpunkt eine Linie unter derselben Neigung wie die Neigung des Schraubenganges ziehen und die andre Seite des Rades in den ersteren entsprechende Teile teilen. Verbinden wir nun diese Punkte durch Linien auf der Oberfläche des Randes des Rades, und schneiden die Zähne aus, so passen die Schraubengänge dazu und die Zähne des Rades greifen in sie ein.

Wie nun die Schiefe der Zähne auf der Stirnseite des Rades bei dem Umdrehen sein mufs — denn wir machen die Neigung der Zähne auf der Stirnseitenfläche des Rades so, dafs sie in die Höhlung der Schraubenwindungen eingreifen — das wollen wir jetzt auseinandersetzen. Nehmen wir ein Rad an, und sei die Entfernung eines der Zähne die Linie $\alpha\beta$ und sei die Schraubenhöhlung auf der Schraube die Linie $\gamma\varepsilon$ zwischen zwei der Grundfläche des Cylinders parallelen Linien, nämlich $\gamma\zeta$ und $\varepsilon\delta$. Nehmen wir nun zwei Linien an, deren eine auf der anderen senkrecht steht, nämlich $\eta\vartheta$ und $\vartheta\varkappa$, und sei $\varepsilon\delta$ gleich der Linie $\eta\vartheta$ und $\gamma\varepsilon$ gleich der Linie $\vartheta\varkappa$. Verbinden wir die beiden Punkte η und $\varkappa$ und ziehen vom Punkte α eine Linie, die auf dem Rade senkrecht steht, in der Dicke des Rades, nämlich $\alpha\lambda$, so wird $\alpha\lambda$ die Dicke des Rades sein. Sei nun die

دائرة[1] س ع ف * فيظهر لنا انّ قوس س ع جزء من عشرين جزءا من دائرة س ع ف[2] لان قوس ح ط جزء من[3] عشرين من محيط دائرة ح ط ك ودائرة س ع ف هى الدائرة الداخلة فتكون هى[4] الدائرة المحدودة اذا زدنا على خطّ ل س خطّا يكون[5] بقدر عمق الدوائر اللولبية ورسمنا ببعد ذلك الخطّ كلّه دائرة على مركز ل وقد ينبغى ان نعلم ان قسمة خارج الدائرة ينبغى ان تتراكب فى عمق اللولب لأن س ع مساو لج د[6] امّا على الحقيقة فانّها لا تتراكب لانّ بعد ظاهر الدوائر اللولبيّة مساو لبعد الدائرة اللولبية الداخل فامّا الاسنان فانّ البعد الذى بين اعلاها الخارج اكبر[7] من البعد الذى بين[8] اسفلها[9] الداخل ولأن الاختلاف فى ذلك غير محسوس لايكون منه[10] امتناع فعل وايضا ينبغى ان يكون الحفر الذى للاسنان التى[11] فى بسيط حافّة الفلكة ليس بقائمة كما قد نعلمه فى الفلك التى[12] نريد ان نركّب اسنان بعضها على بعض لكنّا نصيرها مائلة لتتراكب[13] الاسنان ابدا على كل موضع حفر اللولب[14] وذلك يظهر لنا اذا قسّمنا دائرة على

---

1) K add. وهى دائرة 2) K om. 3) K om. 4) K هذه 5) K om. 6) Codd. ج د 7) K اكثر 8) BC om. 9) Codd. اسافلها 10) BC فيه 11) Codd. الذى 12) Codd. الذى 13) BC لتراكيب K تتراكب 14) Codd. اللولبتى

ist aber der innere Kreis. Er ist also der zu bestimmende Kreis, wenn wir die Linie $\lambda\sigma$ um eine Linie gemäſs dem Betrag ($\sigma\varphi$) der Tiefe der Schraubengänge verlängern

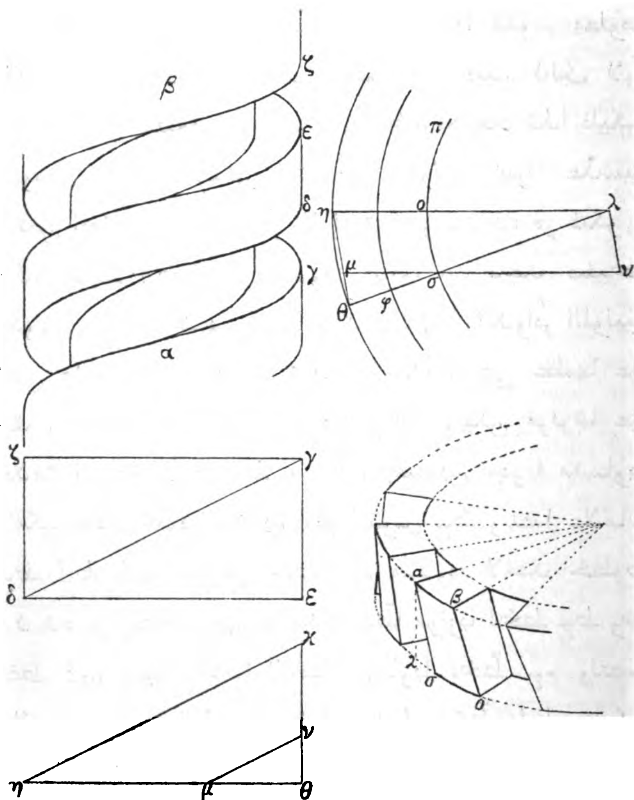


Fig. 12.

und mit dieser ganzen Linie ($\lambda\varphi$) einen Kreis um den Mittelpunkt λ schlagen. Man muſs wissen, daſs die auſserhalb des Kreises gelegenen Teile in die Tiefe der

علامة ه ولكن الى ما يلى علامة ط وكذلك ندبرها[1] بنقلها[2] الى الجهة الاخرى فنعمل اعضاء الاجسام متخالفة[3] ⊙

فامّا كيف نعمل لصفيحة ما اسنانا تكون معلومة الكثرة[4] وتتراكب على لولب معلوم فانّا نبيّن ذلك لانّ ذلك كثير المنفعة فيما نريد ان نخبّر به بعد هذا فليكن اللولب على اب ولتكن الدوائر[5] اللولبية غير[6] عدسية ولتكن ابعاد هذه الدوائر اللولبية قدر جد ده هز فتكون هذه الثلثة الخطوط متساوية فنريد ان نجد صفيحة تكون[7] ذات عشرين سنّا تتراكب على[8] الدوائر اللولبية التى على اللولب فلنفرض دائرة ما تكون فى عظمها على القدر الذى نريد وهى دائرة حطك وليكن مركزها على علامة ل ونقسم محيط الدائرة بعشرين جزءا متساوية وليكن احد هذه العشرين جزءا قوس حط ولنصل علامات حط لط لح ولنفرض خطّ حم مساويا لاحد خطوط جد ده هز ولنخرج من علامة ل خطّا موازيا لخط حط وهو خطّ لن وليكن هذا الخطّ مساويا لخطّ حم ولنصل علامتى من بخط من فانّه يقاطع خطّ لط فليكن التقاطع على علامة س ونرسم على مركز ل ببعد[9] لس

1) Codd. ندبره 2) Codd. بنقله 3) B om. 4) BC الكثيرة 5) Codd. دائرة 6) Codd. om. 7) Codd. add. لها 8) K في 9) K وببعد

Punktes ϑ.*) So verfahren wir weiter, indem wir ihn (den betr. Punkt) immer nach der anderen Seite übertragen und die Körperglieder zu Gegenstücken machen.

Wie man an einer Scheibe Zähne von bestimmter Anzahl anbringt, die in eine bekannte Schraube eingreifen, wollen wir jetzt auseinandersetzen, weil es von groſsem Nutzen ist für das, was wir später darlegen wollen.

Befinde sich die Schraube bei $\alpha\beta$ und sei die Schraubenwindung nicht linsenförmig. Seien ferner die Abstände der Schraubengänge der Betrag von $\gamma\delta$, $\delta\varepsilon$, $\varepsilon\zeta$ und seien diese drei Linien einander gleich, so wollen wir eine Scheibe mit zwanzig Zähnen finden, die in die Windungen der Schrauben eingreifen. Nehmen wir irgend einen Kreis von beliebiger Gröſse an, nämlich den Kreis $\eta\vartheta\varkappa$ und sei der Mittelpunkt desselben beim Punkte λ. Teilen wir nun den Kreisumfang in zwanzig gleiche Teile, und sei einer dieser Teile der Bogen $\eta\vartheta$. Verbinden wir die Punkte $\eta\vartheta$, $\lambda\vartheta$, $\lambda\eta$ und nehmen wir die Linie $\eta\mu$ gleich einer der Linien $\gamma\delta$, $\delta\varepsilon$, $\varepsilon\zeta$ an, ziehen durch den Punkt λ eine Parallele zu $\eta\vartheta$, nämlich $\lambda\nu$ und sei diese gleich der Linie $\eta\mu$. Verbinden wir die Punkte μ und ν durch die Linie $\mu\nu$, so wird dieselbe die Linie $\lambda\vartheta$ schneiden. Der Schnittpunkt falle in den Punkt σ. Ziehen wir nun um den Mittelpunkt λ mit der Entfernung $\lambda\sigma$ einen Kreis, nämlich den Kreis $\sigma o\pi$, so zeigt es sich, daſs der Bogen σo einer der zwanzig Teile des Kreises $\sigma o\pi$ ist, weil der Bogen $\eta\vartheta$ ein zwanzigstel des Kreisumfanges $\eta\vartheta\varkappa$ ist. Der Kreis $\sigma o\pi$

*) In Fig. 11 habe ich den allgemeinen Fall angenommen, daſs die ähnlichen Dreiecke $\gamma\mu\pi$ und $\gamma o\lambda$ nicht gleichseitig seien, wie Hero es wahrscheinlich annahm. Deshalb habe ich zuerst auf der Plattenhälfte $\varkappa\mu\beta$ das Spiegelbild der beiden ähnlichen Dreiecke konstruiert ($\varkappa\mu\varkappa$ als Spiegel gedacht), und dann das von Hero angegebene Verfahren eingeschlagen. Zur Übertragung des nun gefundenen Punktes τ auf den neu zu konstruierenden Körper wäre dann noch ein „Ypsilon“ nach dem Dreieck $\xi\nu\delta$ erforderlich. Für meine Auffassung scheint auch die handschriftliche Figur bei C. de Vaux zu I. 19. zu sprechen.

وفاعلة من الخطوط التى تصلها مثلثين مساويين للمثلثات المعمولة من حرف(1 هولا اعنى المرسومة فى اللوح الواحد وننقل كليهما(2 فى جهة خلف ونفرض علامات متصلة نعمل بها اجزاء الجسم المذكورة(3 ⊙

فان اردنا ان نعمل تماثيل يخالف بعضها بعضا حتى يكون اذا قدّم احدها الرجل اليمنى يقدّم الآخر الرجل ليسرى قدمة تشابه رجل الآخر اليمنى وعلى هذا فى الاعضاء الاخر فانّا نعمل هكذا ننقل(4 العلامة(5 المفروضة فى اللوح الاخر الى الجهة الاخرى حتى تكون موضوعة وضعا متشابها اعنى ان يكون العمود الخارج من العلامة المذكورة على الخط المشترك بعيدا(6 من الطرف الواحد البعد(7 الذى احاط به الخط(8 الاخر من العلامة الاخرى فى الجهة الاخرى ويكون مساويا للعمود الآخر اعنى ان يكون الخطّ المشترك للّوحين خط اب وتكون نهايات ضلع المثلّث علامتى جد والعلامة المفروضة علامة ه ولنخرج على خطّ جد عمودًا وهو عمود هز ولنخرج خطّ دح مساويا لخطّ جز وليكن(9 خطّ حط المساوى لخط هز القائم عليه فطرف القضيب ليس نعوّجه الى ما يلى

---

1) B om. 2) B كلنها CLK add. هولا 3) K المذكور 4) LBC add. الى 5) LC الآية 6) Codd. بعيدة 7) B البعيدة 8) K الطرف 9) BCL الكن

Wenn wir aber Bilder machen wollen, von denen das eine das Gegenstück des andern ist, sodafs, wenn das eine den rechten Fufs vorsetzt, das andre den linken vorsetzt, in einem Schritt, der dem des rechten Fufses des andern

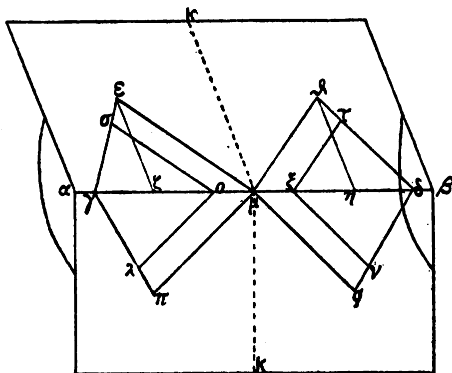


Fig. 11.

ähnlich ist — und so fort bei den übrigen Gliedern —, so verfahren wir also: Wir übertragen den auf der zweiten Tafel gegebenen Punkt ($\varepsilon = m$) nach der anderen Seite, sodafs er eine ähnliche Lage einnimmt, d. h. dafs das von dem erwähnten Punkt (ε) nach der gemeinsamen Linie ($\alpha\beta$) gezogene Lot ($\varepsilon\zeta$) so weit von dem einen Endpunkt entfernt ist, als die andre Senkrechte ($\vartheta\eta$) von dem andern, auf der andern Seite befindlichen, (End-)Punkte ($\gamma\zeta = \delta\eta$), und dafs dasselbe gleich ist dem anderen Lote ($\varepsilon\zeta = \vartheta\eta$). Mit anderen Worten: die den beiden Platten gemeinsame Linie sei die Linie $\alpha\beta$ und die Endpunkte der Dreiecksseite seien die Punkte γ, δ, der gegebene Punkt der Punkt ε; wir ziehen nun auf die Linie $\gamma\delta$ ein Lot, nämlich das Lot $\varepsilon\zeta$ und machen die Linie $\delta\eta$ gleich der Linie $\gamma\zeta$; die Linie $\eta\vartheta$, die gleich $\varepsilon\zeta$ ist, sei die Senkrechte darauf (auf $\delta\eta$). Nun krümmen wir die Spitze des Stabes nicht nach der Richtung des Punktes ε, sondern nach der des

نعوّج القضيب على اجزاء(1 البنية الاخر(2 فنرسم المتشابهات الوضع على الحجر ثم نعمل البسيط على العلامات المفروضة وهى العلامات التى تعمل الشكل* مشابها للشكل(3 الذى تقدّم وضعه(4 وتصير له(5 اليه نسبة هى النسبة المذكورة فامّا الخط الموازى الذى ذكرناه فانّه يرسم فى اللوح الاخر بسهولة اذا رسمنا على اللوح خطّا ما موازيا للخط المشترك امّا ان تكون الاشكال المعمولة على هذا العمل متشابهة فذلك ظاهر لانّها من اشكال ناريّة(6 متشابهة(7 متشابهة الوضع قواعدها المثلثات التى رسمها* هولا فى الاجسام رؤسها العلامات التى رسمتها(8 اطراف القضبان فى كل واحد من الاجسام فامّا ان تكون لبعضها الى بعض نسبة معلومة فذلك ظاهر لان الاشكال الناريّة التى منها عملت الاجسام نسبتها ثلاثة(9 امثال نسبة(10 الاضلاع المتناسبة لان اضلاع(11 المثلثين(12 المتشابهين(12 كذا فرضت فاذًا المجسّمات لبعضها الى بعض هذه النسبة المعلومة ⊙

[١٩] فان اردنا ان نعمل ما خلف الاجسام المتشابهة فانّا(13 نستعمل بهذه الحيلة نتوهّم(14 فى جهة خلف ثلث علامات فى كلّ واحد من الاشكال موضوعة وضعا متشابها

افضل ما يكون 5) LC om. 6) Codd. الاشكال الناريّة 7) BCL om. 8) LCK om. 9) LC نسبها ثلثة 10) Codd. om. 11) B om. 12) Codd. pl. 13) Codd. om. 14) Codd. om.

die Fläche nach den angenommenen Punkten, welches die Punkte sind, welche die Figur der zuerst gegebenen ähnlich machen, und die zu ihr ein Verhältnis wie das erwähnte hat.

Was nun die erwähnte parallele Linie angeht, so wird sie auf der anderen Tafel leicht gezeichnet, wenn wir auf der Tafel irgend eine Parallele zu der gemeinsamen Linie ziehen (?).*)

Dafs nun die auf diese Weise erhaltenen Figuren ähnlich sind, erhellt daraus, dafs sie aus ähnlichen, ähnlich gelegenen Pyramiden entstehen, deren Grundflächen die von den Ypsilon auf den Körpern bestimmten Dreiecke ($\eta\varepsilon\zeta$, $\nu o\xi$) und deren Spitzen die von den Enden der Stäbe auf jedem der Körper bezeichneten Punkte (m,n) sind.

Dafs sie zu einander in dem bekannten Verhältnisse stehen, ist klar, weil das Verhältnis der Pyramiden, aus denen die Körper gemacht wurden, das dreifache (d.i. kubische) Verhältnis der proportionalen Seiten ist, denn die Seiten der ähnlichen Dreiecke ($\eta\varepsilon\zeta$, $\nu o\xi$) wurden so angenommen. Also stehen die Körper in diesem bekannten Verhältnis zu einander.

19 Wenn wir nun die Rückseite der ähnlichen Körper machen wollen, so benutzen wir dieselbe Methode. Wir nehmen auf der Rückseite auf jeder der beiden Figuren drei Punkte an, die eine ähnliche Lage haben und durch die sie verbindenden Linien zwei Dreiecke bestimmen, die den durch den Buchstaben Ypsilon konstruierten Dreiecken, nämlich den auf der einen Platte gezeichneten gleich (kongruent) sind; dann setzen wir die beiden Ypsilon auf der Rückseite auf und nehmen nacheinander Punkte an, durch die wir die erwähnten Teile des Körpers konstruieren.

*) Der Satz scheint mir überflüssig und ist auch ganz unverständlich.

1) Codd. الاجزاء 2) BCL om. 3) B om. 4) K add. وقد يمكن ان يوجد هذا ايضا على الجسم وعلى القاعدة

مشابها له ونعوج طرف القضيب الرصاص الذى عند هولآ حتى ينال طرفه العين التى[1] نريد ثمّ نرفع هولآ ونركبه على المثلث الذى قد رسم فى اللوح[2] ثم نخفض او نرفع اللوح الآخر الذى ليس فيه رسم حتى يناله طرف القضيب بانخفاضه او بارتفاعه ثمّ نرفع هولآ ونصل خطّين من العلامة التى ينالها القضيب الرصاص على اللوح فى نهايات ضلع المثلّث الذى على الخط المشترك للّوحين ولنحفظ[3] كل واحد من اللوحين غير متحرك الى الآخر ونخرج على لعلامة الاخرى التى على الخط المشترك للّوحين خطّا موازيا للخطوط العظام التى عند الخط الموازى للقاعدة حتى يقطع الخطّ المخرج الاخر ثم نأخذ هولا الاخر ونركب[4] اطراف الاسنان التى قد عوّجت الحادّة على المثلّث الذى فى اللوح المساوى للمثلّث المعمول[5] من[6] اطراف تلك الاجزاء ونعوّج القضيب الرصاص حتى ينال العلامة التى رسمها الخطّ الموازى فى اللوح الاخر ونرفع هولآ ونضعه على العلامات المفروضة فى الشكل الذى لم نستعمله فعلى اىّ علامة تراكب طرف القضيب فى الجسم تلك العلامة تكون الموضوعة على موضع عين المثال المشابهة الوضع للتى[7] تعوّج عليها القضيب الاوّل وكذلك ايضا

1) Codd. الذى 2) Codd. الالواح 3) BK وليخفض
4) K add. عليه 5) BCL المعلوم 6) K فى 7) Codd. الذى

Damit aber unsere Belehrung klarer werde, nehmen wir an, wir wollten ein Auge an dem Bilde eines Menschen oder dem Bilde von sonst etwas anbringen. Legen wir also die Merkpunkte der Ypsilon an das bereits vorhandene, ich meine an das gegebene, wozu wir eine ähnliche Figur machen wollen und biegen wir die Spitze (S) des Zinnstabes, der an dem Ypsilon ist, bis die Spitze das betreffende Auge trifft; dann nehmen wir das Ypsilon und setzen es auf das Dreieck ($\eta\varepsilon\zeta$), das auf der Platte (ab) gezeichnet ist; dann senken oder heben wir die andre Platte (cd), auf welcher nichts gezeichnet ist, bis sie bei ihrem Heben oder Senken die Spitze des Stabes trifft. Dann nehmen wir das Ypsilon weg und ziehen von dem Punkte (m), den der Zinnstab auf der Tafel (cd) gemacht hat, nach den Endpunkten der Dreiecksseite, die auf der den beiden Platten gemeinsamen Linie liegt, zwei Linien ($m\eta$, $m\zeta$), und sorgen dafür, dafs die Platten sich nicht gegeneinander bewegen, ziehen durch den andern Punkt (ξ), welcher auf der beiden Platten gemeinsamen Linie liegt, eine Linie ($n\xi$) parallel zu $m\zeta$ (Text: zu den gröfsten Linien, die bei der zur Grundlinie parallelen Linie sind), bis sie die andre gezogene Linie (ηm) schneidet. Dann nehmen wir das andre Ypsilon, setzen die scharfen Spitzen der Zähne, die gebogen wurden, auf das Dreieck ($\nu o\xi$), welches auf der Tafel (ab) ist, und dem aus den Enden jener Teile ($\varkappa\nu$, μo, $\lambda\xi$) gebildeten Dreieck gleich (kongruent) ist, biegen den Zinnstab, bis er den Punkt (n), der durch die parallele Linie ($n\xi$) auf der anderen Platte (cd) bestimmt wurde, trifft, nehmen das Ypsilon weg und setzen es auf die gegebenen Punkte des noch nicht benutzten Körpers. Der Punkt, auf welchen das Ende des Stabes auf dem Körper trifft, ist der auf dem Bilde für den Platz des Auges, das eine ähnliche Lage hat wie dasjenige, auf welches wir den ersten Stab bogen, bestimmte Punkt. Ebenso biegen wir den Stab nach den übrigen Teilen des Bildes und bezeichnen die ähnlich gelegenen Punkte auf dem Steine; dann konstruieren wir

كما قد تكون القضبان الرصاص التى تعمل للتماثيل[1] الانسية ولتكن صورة هذا الحرف الذى يسمى هولا مشابها للاداة التى تسمى غلاغرا ولتكن الالواح التى ذكرنا متحركة الى بعضها بعض الحركة التى اذا سكنت ثبتت وكانت غير متزعزعة كالسراطين امّا صنعة الآلة فهى هذه والذى نريد ان نخبّره بعد هذا هو استعمالها[2] ⊙ فاذا اردنا ان نعمل شكلا مجسّما مشابها لشكل آخر معلوم مجسّم* وله اليه نسبة[3] كالنسبة المعلومة فانّا[4] نقرب بسيط الشكل المجسم الى شكل[5] هولا لتماس المراكز البسيط من كل جهة ونقرّب ايضا الشكل الاخر المشابه هولا للشكل الذى نريد ان نعمله فان اردنا ان نعمله اكبر من الشكل* المنظور اتينا بالشكل الاعظم الى المثلّث الاعظم والآخر الى الباقى فليكن نريد ان نعمل الشكل[6] المشابه فى حجر او خشب او آلة اخرى ونصير على كل جسم علامات المراكز ولتكن العلامات المفروضة موضوعة على الاجسام وضعا متشابها ولنعمل الاجزاء الاخر على هذا العمل وليكون التعليم ظاهرا[7] نفرض كانّا نريد ان نرسم عينا فى مثال انسان او مثال آخر غيره فنضع مراكز هولا على المعمول اعنى الموضوع لنا الذى نريد ان نعمل شكلا

3) BCL om. 4) BCL om. 5) B om. 6) B om. 7) B add. لحيث

ähnlichen Dreiecke seien $\eta\varepsilon\zeta$ und $\nu o\xi$. Zeichnen wir nun über der, den beweglichen Platten gemeinsamen Linie (cb), auf der einen (ab) der Platten, eine dem eisernen Gestell kongruente Figur ($\eta\varepsilon\zeta$) und ziehen ferner durch eine der Dreiecksseiten eine der Grundlinie ($\varepsilon\zeta$) des Dreiecks parallele Linie ($o\xi$), die ein andres Dreieck ($\nu o\xi$), gleich (kongruent) dem eisernen Dreieck, das dem Buchstaben Ypsilon ähnlich sieht, abschneidet. Auf jedem der Ypsilon-Gestelle sei ein Zinnstab ($S\alpha$ und $s\vartheta$), dessen Ende sehr spitz ist, befestigt, so dafs er, wenn er gebogen und dann los gelassen wird, feststehe, d. h. nicht zittere, wie die Zinnstäbe die zu menschlichen Bildern(?) gebraucht werden. Die Form dieses Ypsilon genannten Buchstabens sei (nach der Biegung) ähnlich dem Galeagra genannten Werkzeug. Die Bewegung der genannten Platten gegeneinander sei so, dafs sie beim Aufhören der Bewegung feststehen und sich nicht erschüttern lassen, wie die „Krebse". Dies ist die Herstellungsart des Instrumentes; seine Anwendung wollen wir alsbald darlegen.

Wenn wir nun eine körperliche Figur einer andern ähnlich machen wollen, die zu derselben in einem bekannten Verhältnis steht, so nähern wir die Oberfläche der körperlichen Figur dem Ypsilon-Gestell, so dafs die Merkpunkte auf allen Seiten die Fläche berühren, und bringen auch das andre Ypsilon-Gestell an den zu konstruierenden Körper heran. Wenn wir ihn nun gröfser machen wollen als den vorhandenen Körper, so bringen wir den gröfseren Körper an das gröfsere Dreieck, den anderen an das zweite.

Nehmen wir an, wir wollen den ähnlichen Körper in Stein oder Holz oder einer sonstigen Masse herstellen, und die Merkpunkte an jeden Körper bringen. Die angenommenen Merkpunkte mögen sich auf den Körpern in ähnlicher Lage befinden und wir konstruieren die übrigen Teile auf Grund dieses Vorganges.

---

1) LCK النماثيل   2) B add. قال وهكذا يكون بالالواح (ms. بكوكب) كما هو مبين فى الصورة (ms. الصورت)

على قدر اعظم الشكلين المتشابهين المجسمين * واما صنعة الالة والحاجة اليها فالان نعلّمها[1] ولنتّخذ شكلين من حديد يشابهان[2] الحرف الذي يسمى هولا فلتكن اجزاء كل واحد منهما الممدودة[3] متساوية ولنعوّج اطرافها تعويجا له حدّة ولتكن من تعويج اثنين منها صورة مثلّث ولتكن النسبة المعلومة التى لاحد المجسّمين الى الاخر ثلاثة امثال النسبة التى لاضلاع المثلثين[4] بعضها الى بعض فلنتوهّم ذلك الى خطوط اب اج اد والخطوط التى قد عوّجت جه بز دح والشكل الاخر خطوط طك طل طم ولتكن الخطوط التى قد عوّجت خطوط كن لس مع وليكن المثلثان[5] المتشابهان[6] حه زن عس ولنرسم على الخط المشترك الذى للّوحين المتحركين فى احد اللوحين شكلا مساويا مشابها للشكل الحديد ولنخرج على احد خطوط المثلث خطا موازيا لقاعدة المثلث * يحيط بمثلث[7] اخر مساوٍ للمثلث[8] الذى من حديد الذى يشابه حرف هولا وليكن على كلّ واحد من اشكال هولا قضيب من رصاص ملصق به وليكن طرفه محدّدا قويا ليكون اذا عوج[9] اىّ تعويج كان وترك[9] يسكن[9] اعنى لا يرتعد[9]

1) Codd. وذلك الصنعة والحاجة اليه نعلمه 2) Codd. sgl. 3) LC المقدودة 4) Codd. المثلث 5) CK المثلثات 6) Codd. fem. sgl. 7) K بخط مثلث 8) B om. 9) Codd. fem.

Die Gröfse der Platten sei der Gröfse der gröfseren der ähnlichen Figuren angemessen. Die Herstellung und den Gebrauch des Werkzeugs werden wir jetzt auseinandersetzen.

Nehmen wir zwei Gestelle von Eisen, die dem Ypsilon genannten Buchstaben ähnlich sehen, und seien die Teile eines jeden der beiden ausgestreckt einander gleich. Biegen wir nun die Enden derselben, so dafs die Biegung eine Spitze hat, und entstehe durch das Biegen bei beiden*) die Figur eines Dreiecks. Sei ferner das bekannte Verhältnis

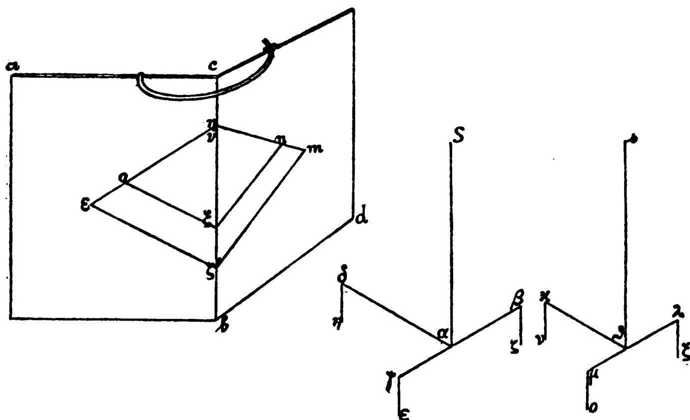


Fig. 10.

der einen der ähnlichen Figuren zur anderen gleich dem dreifachen (d. i. kubischen) Verhältnis der untereinander proportionalen Seiten der zwei Dreiecke und denken wir uns dies nun für die Linien $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$ und $\alpha\delta$, während die Linien, die gebogen wurden, $\gamma\varepsilon$, $\beta\zeta$ und $\delta\eta$ sind; das andre Gestell bestehe aus den Linien $\vartheta\varkappa$, $\vartheta\lambda$ und $\vartheta\mu$, und die gebogenen Linien seien $\varkappa\nu$, $\lambda\xi$ und μo; die beiden

*) wörtlich: durch die Biegung von zweien derselben.

ولب لخطّ رض و مج لخطّ شو و نن لخطّ تص و سه لخطّ ثظ و عز لخطّ فخ ولنخرج على علامات حذضوصظ والعلامات المشابهة لها خطوطا فان قسمت الدوائر المتساوية التى[1] على مركزى طح باقسام اكثر فانّ كلّما كانت العلامات متقاربة كان الخطّ المرسوم اكثر صحّة واستقصاء فلنرسم خطّ حذضوصظ فيكون هذا الخطّ مساويا ومشابها لخطّ ابجدهز لان السطوح المتشابهة[2] المتساوية[3] يتراكب بعضها على بعض ⊙

[١٧] وفى الاشكال المجسّمة ايضا المرتّبة* وغير المرتّبة[4] ينبغى ان نتوهّم النقلة[5] متشابهة اعنى ان تكون كرة[6] بدل الدائرة* التى تعمل[7] او فيها[8] او خارجها[9] اشكال ما اخر متساوية متشابهة فنفرض عليها علامات متشابهة الوضع ونخرج منها الى علامات اخر موضوعة فى اوساط الاشكال خطوطا ونخرجها فانّا اذا فعلنا ذلك كان من هذه الخطوط شكل مجسم مساوٍ مشابه للشكل الموضوع اوّلا ⊙

[١٨] فامّا المجسّمات فانّا نعملها على هذه الجهة نتّخذ لوحين من خشب سطوحيّة متحركة على[10] خطّ مشترك يكون الخطّ المشترك فى كلّ حركة خطّا واحدا وذلك يتهيأ اذا كانت مراكز الهرماوجات[11] التى تتحرك عليها الالواح على هذا الخطّ المشترك وليكن عظم الالواح

$\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ befindlichen; es sei die Linie $\alpha\varkappa$ gleich der Linie $\chi\delta'$, die Linie $\lambda\beta$ gleich der Linie $\varrho\varphi'$, $\mu\gamma$ gleich der Linie $\sigma\psi$, $\nu\delta$ gleich der Linie $\tau\varphi$, $\xi\varepsilon$ gleich der Linie $\tau'\vartheta'$ und $o\zeta$ der Linie $\pi\eta'$. Ziehen wir ferner durch die Punkte $\eta'\delta'\varphi'\psi\varphi\vartheta'$ und die ihnen ähnlichen Punkte Linien, so wird, wenn wir die gleichen Kreise um die beiden Mittelpunkte η, ϑ in noch mehrere Teile teilen, die gezogene Linie um so richtiger und sicherer sein, als die Punkte einander näher liegen. Ziehen wir nun die Linie $\eta'\delta'\varphi'\psi\varphi\vartheta'$, so wird diese Linie der Linie $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ kongruent sein, weil die kongruenten Figuren sich decken.

17 Auch bei den körperlichen Figuren, den regelmäfsigen sowohl als den unregelmäfsigen, müssen wir uns die Übertragung ähnlich denken — nur dafs eine Kugel die Stelle des Kreises vertritt, innerhalb oder aufserhalb dessen wir die kongruenten Figuren konstruieren. Wir nehmen also auf der Kugel ähnlich gelegene Punkte an und ziehen von ihnen nach anderen, im Innern der Figuren gelegenen Punkten Linien, und verlängern dieselben. Wenn wir dies gethan haben, so entsteht durch diese Linien eine körperliche Figur, die der zuerst angenommenen gleich und ähnlich ist.

18 Um nun ähnliche körperliche Figuren zu konstruieren, verfahren wir auf folgende Weise. Wir nehmen zwei ebene Platten von Holz, die sich um eine gemeinsame Linie bewegen lassen, so dafs die gemeinsame Linie bei jeder Bewegung eine und dieselbe Linie bleibt. Dies erreichen wir, wenn die Mittelpunkte der Gelenke, um die sich die Platten bewegen, in diese gemeinsame Linie fallen.

---

1) B om. 2) K المشادهة BCL متشابهة 3) Codd. متساوية 4) Codd. والغير مرتّبة 5) Codd. الثقلة 6) K الكرّة 7) Codd. om. 8) Codd. فيه 9) Codd. om. 10) LK من 11) LC المودادحات B البارمادجات K المومارحات

قليلا ليكون[1] المركز الذى* على الخط[2] الذى ذكرناه جائزا على هذا الخط فانّ المركز الاخر يرسم الشكل المشابه للشكل الاول ويرسمه ايضا على النسبة المعلومة لان الصفائح المسنّة لاحداهما[3] الى الاخرى* هذه النسبة[4] ⊙

[١٦] امّا الشكل الذى يشابه الشكل المعلوم الذى له اليه نسبة معلومة[5] فقد عملناه[6] فى الموضع الذى هو فيه والذى نريد ان نعمل الشكل المشابه له فيه فان اراد احد ان لا يعمل الشكل الموجود فى ذلك الموضع لكن فى موضع اخر حيث يريد واضعه فانّا نستعمل فيه هذا العمل فليكن الشكل المشابه للشكل المعلوم شكل ابجدهز وليكن الموضع[7] الذى نريد ان نعمله فيه ما يلى علامة ح ولنفرض فى داخل شكل ابجدهز علامة ما وهى علامة ط ولنرسم على علامتى ح ط دائرتين متساويتين فى السطح ولنقسمهما باقسام متساوية الكثرة على علامات ك ل م ن س ع ف ق ر ش ت ث ولنصلها ونخرجها من المراكز الى الفصول ونخرج خطوطا مساوية للخطوط التى اخرجت[8] فى شكل ابجدهز من علامة ح وليكن خطّ اك مساويا لخطّ ق ذ

1) K لكون 2) B om. 3) Codd. لاحداها 4) B om. 5) KL om. 6) B خلصناه K حصلنا 7) B om. 8) KLC om.

etwas gebogen sein, damit der, auf der von uns erwähnten Linie befindliche Merkpunkt auf dieser Linie laufe), so beschreibt der andre Merkpunkt die Figur, welche der ersteren ähnlich ist, und beschreibt sie nach dem gegebenen Verhältnisse, weil die gezahnten Scheiben in diesem Verhältnis zu einander stehen.

16 Die Figur, die der bekannten ähnlich ist, und zu ihr in einem gegebenen Verhältnis steht, haben wir an der Stelle, wo sie selbst ist, und wo wir die ihr ähnliche konstruieren wollen, entworfen. Wenn man aber die zu findende Figur nicht an jenem Orte, sondern an einem anderen, wo es der Anfertiger derselben gerade haben will, zeichnen soll, so verfährt man dabei also. Es sei die der bekannten Figur ähnliche, die Figur $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ und

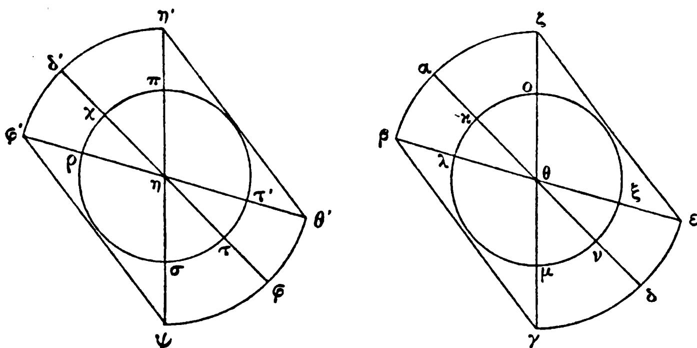


Fig. 9.

es sei der Ort, an den wir sie übertragen wollen, die Umgebung des Punktes η. Nehmen wir innerhalb der Figur $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ irgend einen Punkt, den Punkt ϑ an, und schlagen wir um die beiden Punkte η und ϑ zwei sich gleiche Kreise in der Ebene und teilen sie bei den Punkten $\varkappa\lambda\mu\nu\xi o$ und $\pi\chi\varrho\sigma\tau\tau'$ in gleichviele Teile, verbinden die Teilpunkte mit den Mittelpunkten und machen die vom Punkt η ausgehenden Linien gleich den in der Figur

الصفائح قانون ذو اسنان فى تلك الجهة ولتكن اسنانها مركبة على اسنان الصفائح ولتكن هذه القوانين فى حفر ميرابىّ من(1 قانون اخر متحرك على محور الصفائح بثقب مستدير وليكن على اطراف القوانين المضرسة مراكز تكون لخطّ الاشكال المتشابهة ولتكن هذه المراكز تجوز على خطّ مستقيم على مركز الصفائح ولان يكونا كلاهما ابدًا متحركين حركة مستقيمة على مركز الصفائح وتعمل الثلاث علامات عملا واحدا وتكون ابدًا على خطّ واحد مستقيم ينبغى ان نعمل المراكز التى(2 فى القوانين المسنّة(3 بعيدة* عن مركز الصفائح قدر البعد الاصغر الذى لمركز كلّ واحدة من الصفيحتين عن اطراف القانونين(4 ثمّ نعوجها لتنال السطح الذى نريد ان نرسم فيه الاشكال المتشابهة فان مدّ(5 احد(6 مركزا(7 ما(8 فصيّره على الخط الذى يحيط بذلك الشكل وباعد الآخر عنه البعد الذى يكون ما(9 بينه وبين مركز الصفائح عند البعد الذى بينه وبين المركز(10 الاخر كنسبة اقطار الصفائح المسنّة بعضها الى بعض وصير القانون الذى فيه الحفر الميرابىّ مقوّسا(11

1) B om. 2) BCL om. 3) K المستقيمة 4) Codd.: من القوانين *قدر البعد* (*deest in B*) الذى لمركز كل واحد من الصفائح 5) B بدا K من 6) K اخذ 7) B مراكز 8) B om. 9) Codd. om. 10) Codd. مركز 11) LC منقوسا

zu einander sei jenes bekannte Verhältnis. An jeder der beiden Scheiben befinde sich ein Lineal (pr, lo) mit Zähnen nach jener Richtung (a) hin, und ihre Zähne sollen in die Zähne der Scheiben eingreifen. Diese Lineale mögen in der Nute eines anderen Lineals (ahk) laufen, welches sich auf der Achse der Scheiben mittels eines runden Loches bewegen läſst. Auf den Rändern der gezahnten Lineale mögen sich Merkpunkte (m, n) für die Linie der ähnlichen Figuren befinden, und diese Merkpunkte sollen auf einer, durch den Mittelpunkt der Scheiben gehenden, Geraden (amn) laufen. Damit sie sich aber beide immer so bewegen, daſs die Bewegung auf einer, durch den Mittelpunkt gehenden, Geraden stattfindet, und die drei Punkte immer dasselbe thun und immer auf derselben Geraden bleiben, müssen wir die Merkpunkte auf den gezahnten Linealen so weit von dem Mittelpunkte der Scheiben entfernt machen, als die kürzeste Entfernung des Mittelpunktes beider Scheiben von den Rändern der Lineale beträgt. Dann verschieben wir dieselben, so daſs sie die Ebene, in welcher wir die ähnlichen Figuren zeichnen wollen, treffen. Wenn man nun ein Merkzeichen ausstreckt, so daſs es auf den Umfang jener Figur zu liegen kommt, und das andre so weit von ihm entfernt, daſs der Zwischenraum zwischen dem ersten und dem Mittelpunkt der Scheiben sich zu der Entfernung zwischen diesem und dem anderen Merkzeichen verhält, wie die Durchmesser der gezahnten Scheiben zu einander, (man lasse aber das Lineal, in welchem sich die Nutę befindet,

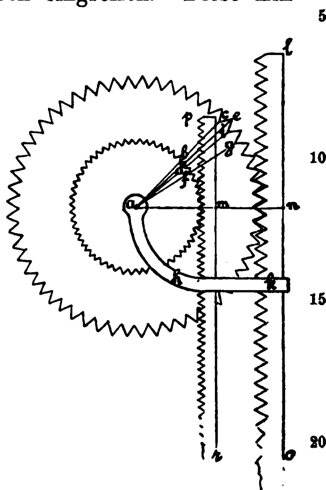


Fig. 8.

السطح[1] خطّ بجدهز وعلامة* ح نرسم خطّ[2] حطكلم فنقول ان شكلى بجدهز حطكلم متشابهان برهان ذلك انّا* نرسم فى بجدهز شكلا مستقيم الخطوط وهو شكل بجدهز وايضا[3] نرسم[4] شكل حطكلم ونصل من علامة ا الى علامات بجدهز خطوطا[5] وهى الخطوط التى قد اخرجناها وايضا نصل حطكلم ومن اجل انّ خطوط با جا دا ها از قد قسمت قسمة متشابهة على علامات حطكلم لما فرضنا فان الشكل المستقيم الخطوط الذى هو بجدهز مشابه للشكل المستقيم الخطوط الذى هو[6] حطكلم وبمثل ذلك نبيّن انّه قد يمكنّا ان نُرسم فى شكل* حطكلم شكلا[7] مستقيم الخطوط يشابه كلّ شكل مستقيم الخطوط يرسم فى شكل بجدهز لانّ الاشكال التى رسمتها العلامتان متشابهة ⊙

[١٥] ولنبيّن الآن كيف نجد شكلا مشابها للشكل المسطّح المعلوم بآلة تكون له اليه نسبة معلومة فنعمل صفيحتين على مركز واحد ثابتة عليه ذوات اسنان مهندمة على محور واحد متحركة فى السطح الذى فيه الشكل الذى نريد ان نعمل مثله ولتكن نسبة الصفائح بعضها الى بعض تلك النسبة المعلومة وليكن على كلّ واحدة من

1) K add. شكل 2) B om. 3) LC انّما 4) B om. 5) LC om. 6) L om. 7) B om.

Darauf seien zwei Punkte, nämlich die Punkte β, η, die sich mit der Linie bewegen. Es beschreibt der Punkt β in der Ebene die (Kreis-)Linie $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ und der Punkt η die (Kreis-) Linie $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$, so behaupten wir, daſs die beiden (Kreis-)Figuren $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ und $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$ einander ähnlich sind. Beweis: Zeichnen wir in $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ eine gradlinige Figur ein, nämlich die Figur $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$; zeichnen wir ferner die Figur $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$, indem wir von dem Punkte α nach den Punkten $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ Linien ziehen, nämlich die Linien, die wir bereits gezogen haben; verbinden wir weiter die Punkte $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$, so ist, weil die Linien $\beta\alpha$, $\gamma\alpha$, $\delta\alpha$, $\varepsilon\alpha$, $\zeta\alpha$ nach unserer Annahme in deu Punkten $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$ in ähnlicher Weise geteilt sind, die eine geradlinige Figur, nämlich $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$, ähnlich der anderen geradlinigen Figur, nämlich $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$. Ähnlich beweisen wir, daſs wir in der Figur $\eta\vartheta\varkappa\lambda\mu$ eine geradlinige Figur ziehen können, die jeder (beliebigen) in $\beta\gamma\delta\varepsilon\zeta$ gezogenen geradlinigen Figur ähnlich ist, weil die von den beiden Punkten beschriebenen Figuren ähnlich sind.

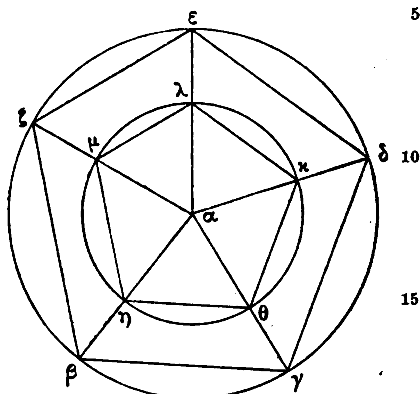


Fig. 7.

15 Beweisen wir nun, wie wir mit Hilfe eines Instrumentes zu einer gegebenen ebenen Figur eine ähnliche finden, die zu derselben in einem gegebenen Verhältnis steht. Machen wir zwei, gleichmäſsig gezahnte, runde Scheiben (ac, ab) um denselben Mittelpunkt (a), die darauf festsitzen, und sich beide um dieselbe Achse in derselben Ebene bewegen, in der die Figur, zu welcher wir eine ihr ähnliche konstruieren wollen, liegt. Das Verhältnis der Scheiben

[١٣] اذا كان خطّ ما متحركا على نقطة ما وفرض على ذلك الخط علامتان تقسمان(1 الخط فيما يلى العلامة الثابتة على النسبة المعلومة فان العلامتين اللتين(1 تتحركان(1 على ذلك الخط ترسمان(1 اشكالا متشابهة فان كان الخطّ يتحرك على سطح فانّه(2 تكون الاشكال المرسومة* بسيطة فان لم يكن الخط متحرّكا على سطح لكنّه كان على(3 مجسم فان الاشكال المرسومة(4 تكون مجسمة اذا توهّمنا العلامات بتقاربها ترسم بسائط الاشكال لانّه ليس بممتنع ان نتوهم فى المحسوسات هذا الوضع(5 وذلك فى المعقولات اكثر صدقا واصحّ(6 وعلى جهة اخرى تسمّى الاشكال متشابهة اذا كان اذا رسم احدهما فى الاخر وفرضت علامة ما تكون الخطوط الخراجة من العلامة الى نهايات الاشكال خطوطا كانت او سطوحا تقطعها نهايات الاشكال فى تلك النسبة ⊙

[١٤] فاذ(7 قد(8 قدّمنا هذا نبين انه يمكننا ان نجد شكلا مشابها لكل شكل مفروض وله اليه نسبة معلومة واول ذلك نبيّنه فى السطوح فلنفرض خطّا ما هو خطّ اب ثابتا(9 على علامة ا متحركا(9 على سطح ولتكن عليه علامتان وهما علامتا ب ح تتجوزان على الخط(10 ولنرسم علامة ب فى

1) Codd. sgl. 2) BCL om. K فانّها 3) B om. 4) CL om. 5) B الموضع 6) B واصلح K واوضح 7) BCL اذا 8) BCL om. 9) Codd. nomin. 10) Codd. الخطوط

wollen aber zuerst einiges vorausschicken, was das Verständnis dafür zu erleichtern geeignet ist; diesem werden wir dann den Beweis für jenes folgen lassen.

Man sagt, dafs ebene und körperliche Figuren, mögen sie regelmäfsig oder unregelmäfsig sein, kongruent sind, wenn man auf einer von ihnen eine solche geradlinige Figur beschreiben kann, dass sie der auf der anderen beschriebenen gleich und ähnlich ist; und man sagt, dafs Figuren einander ähnlich sind, wenn man in einer von ihnen geradlinige Figuren derart beschreiben kann, dafs man in der anderen ihnen ähnliche beschreiben kann.

13 Wenn eine Linie sich um einen Punkt bewegt, und man nimmt auf dieser Linie zwei Punkte an, die von dem festen Punkte aus die Linie nach einem gegebenen Verhältnis teilen, so werden die beiden Punkte, die sich mit dieser Linie bewegen, ähnliche Figuren bestimmen. Wenn sich die Linie nun in einer Ebene bewegt, so werden die bestimmten Figuren eben. Wenn sich aber die Linie nicht in einer Ebene, sondern in einem Körper bewegt, so sind die bestimmten Figuren körperlich, wenn wir annehmen, dafs die Punkte in ihrem gegenseitigen Nahesein die Oberflächen der Figuren beschreiben. Es hindert nämlich nichts, diesen Satz bei den sinnlich wahrnehmbaren Dingen anzunehmen; bei den nur gedachten ist er aber noch wahrer und richtiger. Unter einem anderen Gesichtspunkte nennt man nun die Figuren ähnlich, wenn man die eine in die andere zeichnet und einen Punkt so annimmt, dafs die von dem Punkte nach den Grenzen der Figuren, mögen dieselben Linien oder Flächen sein, gezogenen Linien von den Grenzen der Figuren nach jenem Verhältnis geschnitten werden.

14 Nachdem wir dies vorausgeschickt haben, beweisen wir, dafs wir zu jeder gegebenen Figur eine ähnliche finden können, die zu ihr in einem gegebenen Verhältnis steht. Wir beweisen dies zunächst für die Ebene. Nehmen wir irgend eine Linie an, nämlich die Linie $\alpha\beta$, die im Punkte α befestigt ist und sich in einer Ebene bewegt.

مضروب اح فى نفسه مساوٍ لمضروب[1] ده فى هج مع مضروب حج فى نفسه ومضروب حج فى نفسه مساو لمضروب اح فى نفسه فاذًا مصروب ده فى هج الباقى مساوٍ لمضروب دز فى زا الباقى فاذًا خطّ[2] هد عند دز كخطّ زا عند جه وخط[2] هد عند دز كخطّ با عند از وكخط هج عند جب فاذًا خطّ زا عند جه وخطّ جه عند بج كخطّ با عند از فقد القينا بين خطّى اب بج خطّين متوسطين متناسبين هماخطّا از جه وذلك ما اردنا ان نبيّن ⊙

[١٢] فامّا كيف ينبغى ان نزيد وننقص فى الاشكال المرتّبة سطوحية كانت او مجسمة على النسبة المعلومة فقد اخبرنا بذلك وقد يجب باضطرار ان نحتال فى* غير المرتّبة[3] البسيطة والمجسمة بحيلة يمكنّا بها ان نعمل مثل ذلك العمل ولكنّا نقدّم اولا ما يصلح لتسهيل معرفة هذا ثمّ نتبعه بيان ذلك يقال ان الاشكال متشابهة متساوية بسيطة ومجسّمة مرتّبة كانت او غير مرتّبة اذا امكنا ان نرسم فى احدها من الاشكال المستقيمة الخطوط[4] شكلا مساويا مشابها للذى نرسمه فى الاخر والاشكال يقال انّها متشابهة اذا امكنّاان نرسم فى احدها من الاشكال المستقيمة الخطوط اشكالا ما يمكنّا ان نرسم اشكالا مشابهة لها فى الاخر[5] ⊙

Proportionalen zu $\alpha\beta$ und $\beta\gamma$ sind, indem $\alpha\beta$ die erste, $\zeta\alpha$ die zweite, $\gamma\varepsilon$ die dritte und $\beta\gamma$ die vierte Proportionale ist. Beweis: weil das Viereck $\alpha\beta\gamma\delta$ ein Rechteck ist, so sind die vier Linien $\delta\eta$, $\eta\alpha$, $\eta\beta$ und $\eta\gamma$ einander gleich; und weil die Linie $\eta\delta$ der Linie $\eta\alpha$ gleich ist, aufserdem die Linie $\eta\zeta$ gezogen ist, so ist

$$\delta\zeta \cdot \zeta\alpha + \alpha\eta^2 = \eta\zeta^2.$$

Ebenso ist

$$\delta\varepsilon \cdot \varepsilon\gamma + \gamma\eta^2 = \eta\varepsilon^2.$$

Die Linien $\varepsilon\eta$ und $\eta\zeta$ sind aber gleich; folglich ist

$$\delta\zeta \cdot \zeta\alpha + \alpha\eta^2 = \delta\varepsilon \cdot \varepsilon\gamma + \eta\gamma^2$$

Es ist aber

$$\alpha\eta^2 = \qquad \eta\gamma^2$$

Daher durch Subtraktion:

$$\delta\zeta \cdot \zeta\alpha \qquad = \delta\varepsilon \cdot \varepsilon\gamma$$

Dann verhält sich die Linie $\varepsilon\delta$ zu $\delta\zeta$ wie die Linie $\zeta\alpha$ zu $\gamma\varepsilon$. Die Linie $\varepsilon\delta$ verhält sich aber zu $\delta\zeta$ wie die Linie $\beta\alpha$ zu $\alpha\zeta$ und wie die Linie $\varepsilon\gamma$ zu $\gamma\beta$. Dann verhält sich die Linie $\zeta\alpha$ zu $\gamma\varepsilon$ und die Linie $\gamma\varepsilon$ zu $\gamma\beta$ wie die Linie $\alpha\beta$ zu $\alpha\zeta$ $\left(\text{d. h. } \frac{\alpha\beta}{\alpha\zeta} = \frac{\alpha\zeta}{\gamma\varepsilon} = \frac{\gamma\varepsilon}{\gamma\beta}\right)$. Wir haben also zu den beiden Linien $\alpha\beta$ und $\beta\gamma$ zwei mittlere Proportionalen konstruiert, nämlich die Linien $\alpha\zeta$ und $\gamma\varepsilon$. q. e. d.

12 Wie man regelmäfsige ebene oder körperliche Figuren nach einem bestimmten Verhältnis vergröfsern oder verkleinern mufs, haben wir jetzt auseinandergesetzt. Nun ist es aber auch sehr notwendig für die unregelmäfsigen ebenen und körperlichen Figuren eine Methode zu ersinnen, mittels welcher uns dasselbe Verfahren möglich ist. Wir

---

1) C om. 2) B add. قدر 3) Codd. الغير مرتبة 4) B om. 5) LC الاكثر

[اا] فامّا كيف نستخرج خطّين متناسبين بين خطّين مفروضين فانّا نبيّن ذلك بآلة لانّا[1] لا[2] نحتاج* فى ذلك الى المجسّمة[3] ولنضع فى ذلك ما كان فى العمل اكثر سهولة فليكن الخطّان المفروضان خطّى اب بج وليكن احدهما قائما على الآخر وهما الخطّان اللذان نريد ان نجد خطّين متوسطين بينهما فنتمّ مربّع ابجد ونخرج خطّى دج دا ونصل بد جا ونركّب على علامة ب قانونا يقطع خطّى ده از ونديره حتى يكون الخط الخارج من علامة ح الى تقاطع جه مساويا للخطّ الخارج من علامة ح الى تقاطع از وليكن وضع القانون على هبز وخطّا هح حز متساويان فاقول انّ خطّى از جه متوسطين متناسبين بين خطّى اب بج واوّلها اب والثانى زا والثالث جه والرابع جب برهان ذلك من اجل ان مربع ابجد متوازى الاضلاع قائم الزوايا فانّ الاربعة خطوط التى هى دح حا حب حج متساوية ومن اجل ان خطّ حد مساوٍ لخط حا وقد اخرج خط حز فانّ مضروب دز فى زا مع مضروب اح فى نفسه مساوٍ لمضروب حز فى نفسه وكذلك ايضا مضروب ده فى هج مع مضروب جح فى نفسه مساوٍ لمضروب* حه فى نفسه وخطا هح حز متساويان فاذا مضروب دز فى زا مع

1) BCL om. 2) K om. 3) Codd.: الى ذلك فى الجسم (K: المجسّمة)

11 Wie man aber zwei mittlere Proportionalen zu zwei gegebenen Linien findet, wollen wir jetzt darthun mit Hilfe eines Instrumentes, wobei wir keine körperlichen Figuren nötig haben, und wollen dafür die leichteste Methode angeben.

Es seien die beiden gegebenen Linien die Linien $\alpha\beta$ und $\beta\gamma$; die eine stehe senkrecht auf der anderen, und beide seien die Linien, zu denen wir die beiden mittleren Proportionalen finden wollen. Vollenden wir nun das

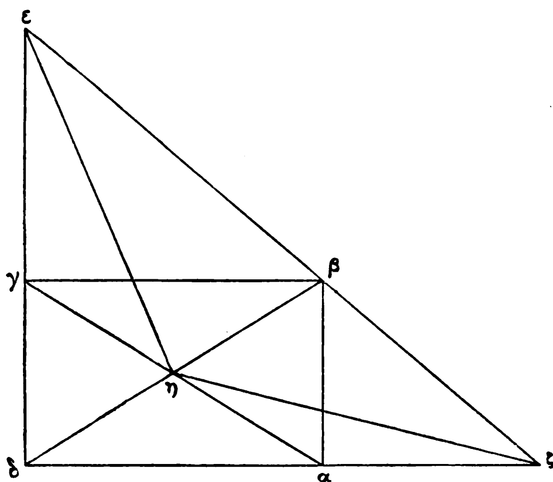


Fig. 6.

Rechteck $\alpha\beta\gamma\delta$, indem wir die beiden Linien $\delta\gamma$ und $\delta\alpha$ ziehen. Verbinden wir ferner β mit δ und γ mit α, und legen an den Punkt β ein Lineal an, das die Linien $\delta\varepsilon$ und $\alpha\zeta$ schneidet, drehen es, bis die vom Punkte η nach dem Schnittpunkt von $\gamma\varepsilon$ ausgehende Linie der vom Punkte η nach dem Schnittpunkt von $\alpha\zeta$ ausgehenden gleich ist. Die Lage des Lineals sei bei $\varepsilon\beta\zeta$ und die beiden Linien $\varepsilon\eta$ und $\eta\zeta$ seien gleich; so behaupte ich, daſs die beiden Linien $\alpha\zeta$ und $\gamma\varepsilon$ die beiden mittleren

[٩] فاما كيف نريد على[1] الاشكال البسيطة والمجسمة وكيف ننقص منها على النسبة المعلومة فانّا الآن نخبّر بذلك[2] ليمكنّا ان نريد فى الذراع مثلا فى الاشكال المجسّمة والبسيطة على نسبة واحدة واوّل ذلك فى الاشكال البسيطة فلنفرض خطّا ما معلوم النوع فنريد ان نجد خطّا آخر يكون الشكلين المرسومين على الخطّين المتشابهين لاحدهما الى الاخر نسبة مثل النسبة المعلومة فليكن للخطّ المعلوم الى خط آخر نسبة مملومة ولنفرض بين الخطين المعلومين نسبة خطّ آخر وهو الخط المطلوب لانّه اذا كانت ثلثة خطوط متناسبة تكون مثل نسبة الاول الى الثالث كذلك نسبة صورة الاول الى صورة الثانى المتشابهة المخطوطة بالتشابه ⊙

[١٠] ولكن هنا نريد ان نجد خطّا آجر تكون الاشكال المجسّمة التى من خطين المتشا بهة المرسومة بالتشابه لبعضها الى بعض نسبة معلومة فليكن خطّ ما له الى خطّ اخر نسبة ما معلومة ونفرض[3] بين هذين الخطّين خطّين آخرين فى النسبة المتّصلة[4] فاذا فعلنا ذلك فحصنا عن مطلوبنا لانّه اذا كانت اربعة خطوط فى نسبة متّصلة تكون مثل نسبة الاول الى الرابع كذلك نسبة الصورة المجسمة التى من الخط الاول الى الشكل المجسم الذى من الخطّ الثانى المتشابه المخطوط على المشابهة ⊙

$\alpha\gamma$ und $\beta\delta$ und aus der Bewegung von α auf der Linie $\alpha\beta$. Es legt also der eine Punkt α in gleichförmiger Bewegung zwei ungleiche Linien zurück. q. e. d.

9 Wie man nun ebene oder körperliche Figuren nach einem bestimmten Verhältnis vergröſsert oder verkleinert, das wollen wir jetzt darlegen, um z. B. eine Elle an körperlichen oder ebenen Figuren nach demselben Verhältnis vergröſsern zu können. Handeln wir zunächst von den ebenen Figuren. Nehmen wir also irgend eine der Art nach bestimmte Linie an. Nun wollen wir eine solche Linie finden, daſs die über den beiden Linien beschriebenen ähnlichen Figuren in einem Verhältnis zu einander stehen, welches dem bekannten Verhältnis gleich ist. Die bekannte Linie stehe zu einer anderen in einem bekannten Verhältnis, und nehmen wir zwischen den beiden bekannten Linien die mittlere Proportionale an*), so ist diese die gesuchte Linie; denn wenn die Linien unter einander proportional sind, so ist das Verhältnis der ersten zur dritten gleich dem Verhältnis der über der ersten und zweiten nach der Ähnlichkeit beschriebenen, ähnlichen Figuren.

10 Nun wollen wir aber eine Linie finden, so daſs die nach der Ähnlichkeit beschriebenen ähnlichen, körperlichen Figuren über den beiden Linien in einem bestimmten Verhältnis zu einander stehen. Es sei also eine Linie gegeben, die mit einer andern Linie ein bestimmtes Verhältnis bildet. Nehmen wir nun zwischen den beiden Linien zwei andere Linien in fortlaufender Proportion an, so ist das Verhältnis der ersten zur vierten gleich dem Verhältnis jeder über der ersten konstruierten körperlichen Figur zu dem über der zweiten nach der Ähnlichkeit beschriebenen, ähnlichen körperlichen Gebilde.

*) wörtlich: das Verhältnis einer anderen Linie.

1) K فى 2) K به 3) K ولنفرض 4) K نسبة متصلة

فيه نقطة ا الى ب مساويا للزمان الذى يجوزفيه خط اب الى جد فاقول انّ علامة ا فى الزمان الواحد تتحرّك على خطين غير متساويين برهان ذلك انّه اذا تحرك خط اب فى زمان ما فصار موضعه على خط هز فانّ علامة ا المتحركة على خط اب تكون فى ذلك الزمان على خطّ هز فتكون نسبة واحدة نسبة خط اج الى خطّ اب اعنى الى خط جد كنسبة خطّ اه الى الخط الذى من علامة ه الى العلامة المتحرّكة عليه ولخطّ اج الى خط جد نسبة هى نسبة اه الى هح فاذًا العلامة المتحرّكة على* خط اب تصير عند ح على خط اد الذى هو القطر وبمثل ذلك يتبيّن ان العلامة[1] التى تجوز على خط اب هى ابدًا جائرة على خطّ اد وفى ذلك الزمان تتحرّك على كل واحد من خطّى اد اب وخطا اد اب مختلفان فاذا العلامة المتحرّكة حركة معتدلة فى الزمان الواحد تجوز على خطين غير متساويين ولكن كما قلنا حركة العلامة على خط اب مبسوطة وحركتها التى على قطر اد مؤلّفة من حركة اب على خطّى اج بد ومن حركة ا على خط اب فاذًا علامة ا فى الزمان الواحد بالحركة المعتدلة تجوز على خطّين غير متساويين وذلك ما اردنا ان نبيّن ⊙

1) B om.

der Zeit, in welcher die Linie $\alpha\beta$ nach $\gamma\delta$ gelangt; so behaupte ich, dafs der Punkt α in einer gewissen Zeit zwei ungleiche Linien zurücklegt. Beweis dafür: Wenn sich die Linie $\alpha\beta$ eine gewisse Zeit bewegt, und ihr Platz auf die Linie $\varepsilon\zeta$ fällt, so kommt der auf der Linie $\alpha\beta$ bewegte Punkt in derselben Zeit auf die Linie $\varepsilon\zeta$

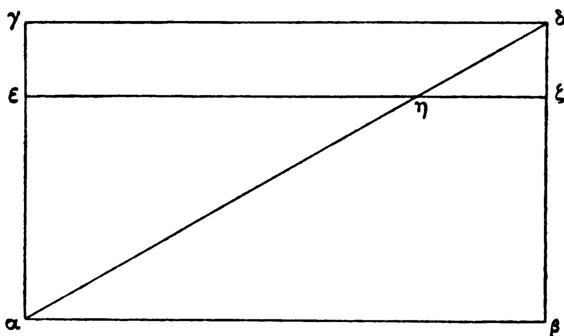


Fig. 5.

zu liegen und es tritt ein konstantes Verhältnis ein. Das Verhältnis der Linie $\alpha\gamma$ zur Linie $\alpha\beta$ d. i. zur Linie $\gamma\delta$ ist nämlich gleich dem Verhältnis der Linie $\alpha\varepsilon$ zu der Linie, die zwischen dem Punkt ε und dem auf ihr bewegten Punkte liegt. Die Linie $\alpha\gamma$ verhält sich aber zur Linie $\gamma\delta$ wie $\alpha\varepsilon$ zu $\varepsilon\eta$. Dann fällt also der auf der Linie $\alpha\beta$ bewegte Punkt nach η auf die Linie $\alpha\delta$, welche die Diagonale ist. Ähnlich beweisen wir, dafs der die Linie $\alpha\beta$ durchlaufende Punkt immer auf der Linie $\alpha\delta$ weiterrückt, und sich in derselben Zeit auf den Linien $\alpha\delta$ und $\alpha\beta$ bewegt. Die beiden Linien $\alpha\delta$ und $\alpha\beta$ sind aber verschieden, also legt der in gleichförmiger Bewegung fortschreitende Punkt in derselben Zeit ungleiche Linien zurück. Indessen ist, wie gesagt, die Bewegung des Punktes auf der Linie $\alpha\beta$ einfach, seine Bewegung auf der Diagonale $\alpha\delta$ aber zusammengesetzt aus der Bewegung von $\alpha\beta$ auf den beiden Linien

به انّه محال لانّه لايمكن ان تكون قوس الدائرة العظمى مساوية لقوس الدائرة الصغرى فنقول ان قوس الدائرة الصغرى لم تتدحرج على خط جج فقط لكن الدائرة الصغرى تجوز مجاز الدائرة الكبرى معًا فيعرض ان تتحرّك الدائرة الصغرى حركة مساوية السرعة لحركة الدائرة الكبرى بحركتين لانا اذا توهّمنا الدائرة الكبرى متدحرجة والدائرة الصغرى غير متدحرجة بل ثابتة على علامة ج وحدها فانّها فى مثل ذلك الزمان تجوز خطّ جج فاذًا مركز آ فى ذلك الزمان يجوز خطّ اا وهو مساو لخطّى بب جج فاذًا ليس ينفع فى الحركة تدحرج التفاف الدائرة الصغرى* كثير شىء وعليه طول مسافة الدائرة الكبرى التى تحرك الدائرة الصغرى[1] فانّا قد نرى المركز وهو لا يتدحرج بتّة يسلك ذلك البعد بالحركة التى تحرك بها الدائرة العظمى ⊙

[٨] فامّا ان تكون العلامة الواحدة* اذا تحرّكت[2] بحركتين متساويتى السرعة يمكنها ان تجوز خطوطا غير متساوية فانّا الآن نبيّن ذلك فليفرض سطح مربع متوازى الاضلاع قائم الزوايا وهو سطح ابجد وليكن قطره خط اد ولتكن علامة ا جائزة مجازا معتدلا على خط اب وليكن خط اب متحرّكًا على خطّى اج بد حركة معتدلة ليكون ابدًا موازيا لخط جد وليكن الزمان الذى يجوز

1) L om. 2) BCL om.

der kleinere Kreis abwickelt, wenn er eine Umdrehung macht; dann ist also die Bewegung des kleineren Kreises gleichschnell mit der des gröſseren, weil die Linie $\beta\beta'$ der Linie $\gamma\gamma'$ gleich ist. Dinge aber, die in gleichen Zeiten gleiche Entfernungen durchlaufen, haben gleiche Geschwindigkeit und gleiche Bewegung.

Man könnte von diesem Satze denken, er sei widersinnig, da es nicht möglich ist, daſs der Umfang des gröſseren Kreises dem Umfang des kleineren gleich sei. Wir behaupten nun, daſs nicht allein der Umfang des kleineren Kreises sich auf der Linie $\gamma\gamma'$ abgerollt hat, sondern daſs der kleinere Kreis den Weg des gröſseren mit durchläuft, so daſs es sich zeigt, daſs der kleinere Kreis durch zwei Bewegungen die gleiche Geschwindigkeit, wie der gröſsere, erreicht; denn, wenn wir uns den gröſseren Kreis rollend denken, den kleineren aber nicht rollend, sondern für sich auf dem Punkte γ festsitzend, so wird er in gleicher Zeit die Linie $\gamma\gamma'$ zurücklegen; dann legt der Mittelpunkt α in dieser Zeit die Linie $\alpha\alpha'$ zurück. Diese ist aber gleich den beiden Linien $\beta\beta'$ und $\gamma\gamma'$; dann macht also das Fortschreiten der Abwickelung des kleineren Kreises für die Bewegung nichts aus, und infolge davon ist die Länge der Strecke des gröſseren Kreises dieselbe, um welche sich der kleine Kreis fortbewegt; denn wir sehen, daſs der Mittelpunkt, ohne daſs er rollt, diese Entfernung durchmiſst, dank der Bewegung, in welcher der groſse Kreis sich befindet.

8 Was nun den Fall betrifft, daſs ein Punkt, der sich in zwei Bewegungen von je konstanter Geschwindigkeit bewegt, ungleiche Linien zurücklegen kann, so werden wir das jetzt beweisen. Man nehme ein Rechteck an, nämlich $\alpha\beta\gamma\delta$, und es sei die Linie $\alpha\delta$ eine Diagonale; es laufe ferner der Punkt α in gleichförmiger Bewegung auf der Linie $\alpha\beta$ und die Linie $\alpha\beta$ bewege sich in gleichförmiger Bewegung auf den beiden Linien $\alpha\gamma$, $\beta\delta$, so daſs sie stets der Linie $\gamma\delta$ parallel ist; es sei auch die Zeit, in welcher der Punkt α nach β läuft, gleich

[٧] وقد يمكن ان تكون حركة الدائرة الصغرى والكبرى متساوية السرعة وان كانت الدوائر ثابتة متحركة على مركز واحد فلنتوهّم دائرتين ثابتتين على مركز واحد وهو مركز ا وليكن خط ما يماسّ الدائرة الكبرى وهو خط ب ب ولنصل علامتى اب فيكون خط اب قائما على خط ب ب وخط ب ب يوازى خط جج فاذًا خط جج يماسّ الدائرة الصغرى وايضا فلنخرج على علامة ا خطا يوازى هذه الخطوط وهو خط اا فان توهّمنا الدائرة العظمى متدحرجة على خط ب ب فانّ الدائرة الصغرى تتدحرج جائزة على خط جج فان كانت الدائرة العظمى قد دارت دورة واحدة يظهر لنا انّ الدائرة الصغرى قد دارت دورة واحدة فيكون وضع الدوائر وضع الدوائر التى مركزها على ا ويكون وضع خط اب الوضع الذى لخط اب فلذلك يكون خط ب ب مساويا لخط جج وخط ب ب هو الخط الذى تتدحرج عليه[1] الدائرة العظمى اذا دارت دورة واحدة وخط جج هو الخط الذى تلتفّ عليه الدائرة الصغرى اذا دارت دورة واحدة فاذًا الدائرة الصغرى حركتها مساوية السرعة لحركة الدائرة العظمى لان خط ب ب يساوى خط جج والاشياء التى تجوز فى الازمان المتساوية ابعادًا متساوية فان حركتها متساوية السرعة[2] ⊙ ولعلّ هذا القول يظنّ

1) CBL om. 2) Ḳ add. وهى متساوية الحركة

7 Manchmal kann aber auch die Bewegung des kleineren und des gröſseren Kreises gleichschnell sein, selbst wenn die Kreise auf demselben Mittelpunkte festsitzen und sich um denselben drehen. Denken wir uns zwei Kreise auf demselben Mittelpunkt α befestigt, und sei eine Tangente

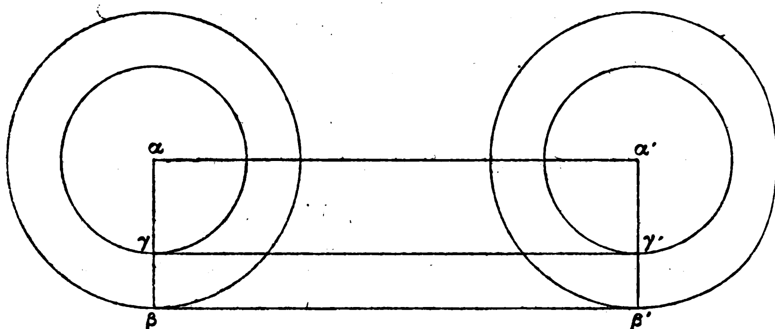


Fig. 4.

des gröſseren Kreises, nämlich die Linie $\beta\beta'$ gegeben. Verbinden wir ferner die Punkte α, β, so steht die Linie $\alpha\beta$ senkrecht auf der Linie $\beta\beta'$, und die Linie $\beta\beta'$ ist parallel der Linie $\gamma\gamma'$; dann ist die Linie $\gamma\gamma'$ eine Tangente des kleineren Kreises. Ziehen wir ferner durch den Punkt α eine Linie, die diesen Linien parallel ist, nämlich die Linie $\alpha\alpha'$, so wird, wenn wir uns den gröſseren Kreis auf der Linie $\beta\beta'$ rollend denken, der kleinere Kreis rollen, indem er die Linie $\gamma\gamma'$ durchläuft. Wenn nun der gröſsere Kreis eine Umdrehung gemacht hat, so zeigt es sich uns, daſs auch der kleinere eine Umdrehung gemacht hat, so daſs die Lage der Kreise die Lage derjenigen Kreise ist, deren Mittelpunkt bei α' ist, und die Lage der Linie $\alpha\beta$ diejenige ist, welche die Linie $\alpha'\beta'$ einnimmt. Deshalb ist die Linie $\beta\beta'$ gleich der Linie $\gamma\gamma'$. Die Linie $\beta\beta'$ ist aber die Linie, auf welcher der gröſsere Kreis rollt, wenn er eine Umdrehung macht, und die Linie $\gamma\gamma'$ ist die Linie, auf welcher sich

ايضا على هذا وبالجملة ان الذى يعرض فى الثلاث الدوائر هو يعرض فى كل الدوائر التى جملتها افراد والذى يعرض فى الدائرتين هو يعرض فى كل الدوائر التى جملتها ازواج ⊙ وقد ترى الحركة تكون مرّة مماثلة ومرّة مضادّة ليس فى دائرتين واكثر منهما فقط لكن فى الدائرة الواحدة قد ترى العلامة الواحدة مرّة تتحرك فى جهة ما ومرّة تتحرك فى ضد تلك الجهة فانّ تلك العلامة المتحركة اذا ابتدات بالحركة من علامة ما لا تزال تتحرك فى جهة واحدة الى ان تجوز نصف دائرة فامّا اذا جازت قوس نصف الدائرة الثانى[1] فانها تتحرّك حركة مضادّة لتلك الحركة ⊙

[٦] وايضا ليس تكون الدوائر العظام ابدًا اسرع حركة من الدوائر الصغار لكن قد تكون ايضا الدوائر الصغار اسرع من الكبار لانّه اذا كانت الدوائر[2] على مركز واحد ثابتةً عليه فانّ الدوائر الكبار تتحرّك اسرع من الصغار فان كانت الدوائر متباعدة وكانت فى جسم واحد اعنى على غير[3] محور واحد كما قد يكون فى العجل الكثيرة الفلك فان الدوائر الصغار تتحرّك اسرع من الدوائر الكبار لانّ حركتها واحدة وفى الزمان الواحد كل واحدة منها تتحرّك فتحتاج الدائرة الصغرى ان تدور دورات كثيرة الى ان تدور الكبيرة دورة واحدة فلذلك صارت الصغرى اسرع حركة ⊙

---

1) K الباقى 2) B add. الصغار 3) BCK om. L in marg.

Kreis aber die dem dritten entgegengesetzte Bewegung macht, so ist die Bewegung des ersten Kreises derjenigen des dritten gleich. Wenn sich nämlich etwas in gleichartiger Bewegung mit etwas Anderem befindet, dieses aber eine etwas Drittem entgegengesetzte Bewegung macht, so befindet sich das Erste in einer dem Dritten entgegengesetzten Bewegung.

Wenn ferner ein vierter Kreis vorhanden ist, so verfahren wir dabei nach derselben Methode. Überhaupt wird das, was sich bei den drei Kreisen zeigt, bei allen Kreisen eintreten, deren Anzahl ungerade ist, und was bei den zwei Kreisen der Fall ist, findet bei allen Kreisen statt, deren Anzahl gerade ist.

Doch sieht man nicht allein bei zwei und mehr Kreisen, daſs die Bewegung bald gleichartig, bald entgegengesetzt ist, sondern bei einem Kreise sieht man, daſs derselbe Punkt sich bald nach einer Richtung, bald nach der derselben entgegengesetzten hinbewegt. Denn wenn der bewegte Punkt bei irgend einem Punkte seine Bewegung beginnt, hört er nicht auf sich in derselben Richtung zu bewegen, bis er einen Halbkreis durchlaufen hat; wenn er nun den zweiten Halbkreis durchläuft, so bewegt er sich in der jener entgegengesetzten Richtung.

6 Ferner sind nicht immer die groſsen Kreise schneller beweglich als die kleinen, sondern manchmal sind auch die kleineren schneller als die gröſseren. Denn wenn die Kreise auf einer Achse befestigt sind, so bewegen sich die gröſseren schneller als die kleineren. Wenn dagegen die Kreise von einander entfernt, aber an demselben Körper sind, nämlich nicht auf derselben Achse, wie es bei den Wagen mit vielen Rädern vorkommt, so bewegen sich die kleinen Kreise schneller als die groſsen, weil ihre Fortbewegung eine und dieselbe ist, und in derselben Zeit jeder von ihnen sich (um gleichviel weiter-)bewegt; daher muſs der kleinere Kreis mehrere Umdrehungen machen, bis der groſse eine macht, sodaſs deshalb der kleinere in schnellerer Bewegung ist.

في جهة ج في ذلك الزمان تجوز علامة ه قوس ه ح د وهي متحرّكة حركة([1] متضادّة وايضا في الزمان الذي تبتدي فيه علامة ه من *ز فتجوز قوس([2] ز ج في ذلك الزمان تبتدي علامة ه من د([3] فتجوز قوس د ك ه وتصير الى علامة ه فتكون العلامة التي تجوز على قوس([4] ه ح د ك ه مرّة تضادّ حركة العلامة التي تجوز على قوس ه ز ج ومرّة تكون مماثلة لها وايضا في([5] الزمان الذي تجوز فيه علامة ج قوس ج ط ه فيه تجوز علامة ه قوس ه ح د ك ه مرّة في([6] جهة ج ومرّة مضادّة لها ⊙ فان كانت القوس ثلثة امثال القوس او في نسبة اخرى ايّ([7] نسبة كانت فانّا نبيّن ان العلامات المتحركة مرّة تتحرك في جهة واحدة ومرّة تتحرك في جهات متضادّة والله الموفق ⊙

[ه] فان([8] توهّمنا دائرة موضوعة تماسّ الدائرة التي مركزها علامة ب على علامة ل([9] فانّا نبيّن ما ذكرنا في الدائرة الاولى في الدائرة الثالثة لانّه اذا كانت الدائرة الاولى تتحرّك حركة تضادّ الدائرة الثانية وكانت الدائرة الثانية تتحرك حركة تضادّ الدائرة الثالثة فانّ حركة الدائرة الاولى تكون مماثلة لحركة([10] الدائرة الثالثة فان تحرك شيء ما حركة مماثلة لحركة شيء آخر وكانت تلك تتحرّك حركة متضادّة لحركة اشياء اخر فان الاولى تتحرّك حركة مضادّة لحركة الاشياء الثالثة ⊙ فان كانت ايضا دائرة رابعة بيّنا ذلك

bei δ beginnend, den Bogen $\delta\varkappa\varepsilon$ durchlaufen und zum Punkte ε gelangen. So wird der Punkt, der den Bogen $\varepsilon\eta\delta\varkappa\varepsilon$ durchläuft, einmal die entgegengesetzte Bewegung

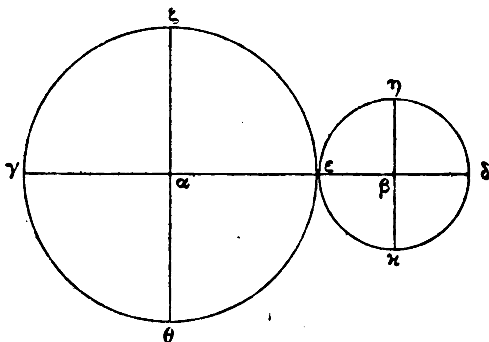


Fig. 3.

des Punktes, der den Bogen $\varepsilon\zeta\gamma$ durchläuft, machen, das andre Mal ihm gleichen. Ferner durchläuft in derselben Zeit, in welcher der Punkt γ den Bogen $\gamma\vartheta\varepsilon$ durchläuft, der Punkt ε den Bogen $\varepsilon\eta\delta\varkappa\varepsilon$ teils in gleicher Richtung mit γ, teils in entgegengesetzter.

Wenn nun der eine Bogen dreimal so grofs ist, als der andre, oder in sonst einem Verhältnis dazu steht, so werden wir zeigen, dafs die bewegten Punkte sich teils in derselben, teils in entgegengesetzter Richtung bewegen.

Wenn wir uns einen dritten Kreis angelegt denken, der den Kreis mit dem Mittelpunkte β berührt, so beweisen wir von dem dritten Kreise, was wir vom ersten erwähnt haben. Denn wenn der erste Kreis sich in einer dem zweiten entgegengesetzten Bewegung befindet, der zweite

---

1) Codd. om. 2) LCK علة 3) B om. 4) K add. محيط 5) LCK om. 6) B om. 7) B om. 8) LK وان 9) K om. 10) LBC حركة

متساويا عن زح(1 وايضا اذا كانت الحركة على قوسى زج حد الى جد كانت(2 متساوية وهذا مما(3 ينبغى ان نتوهّمه على قوسى جط دك وعلى قوسى طه كه وايضا نقول انّه يمكن ان تتحرّك فى جهة واحدة فنقول ان علامتى ده تتحرك فى جهة واحدة اذا كانت علامة ه تتحرك على قوس هزج وعلامة د على قوس دكه وكان بعدهما من علامتى زك متساويا وقربهما منهما متساويا فهذه الحركة تسمى المتضادّة فلذلك صار المتضادّ والمماثل من المضاف فينبغى ان تميّز فى كلّ حركة الحركة التى تماثل والتى تضادّ وقولنا هذا(4 ينبغى ان نتوهّم فى الدوائر المتساوية فامّا فى الدوائر المختلفة ففيما بعد هذا نبيّنه(5 ⊙

[٤] (6 فلتكن الدوائر غير متساوية ولتكن مراكزها على علامتى اب وليكن اعظم الدائرتين الدائرة التى مركزها على علامة ا ففى هذه الدوائر لا يتمّ الترتيب الذى فى الدوائر المتساوية فلنفرض علامتين ندرهما من علامة ه ولان نمثل ذلك نصيّر قطر جه ضعف قطر هد فاذًا يكون قوس هزج ضعف قوس هحد فانّ ذلك قد برهنه ارشميدس فاذًا فى الزمان الذى تجوز فيه علامة ه قوس هز متحرّكة

---

1) Codd. زك 2) Codd. om. 3) CL om. 4) L om.
5) LC فما بعد هذا 6) B incipit. K add. فى الدوائر المختلفة

auch nach derselben Richtung hin stattfinden, wenn wir uns die Entfernung der Punkte gleichweit bleibend von $\zeta\eta$ (Text $\zeta\varkappa$) denken. Ebenso wenn die Bewegung auf dem Bogen $\zeta\gamma$ und $\eta\delta$ nach γ und δ hin gleichmäſsig geschieht. Dasselbe müssen wir auch für die Bogen $\gamma\vartheta$, $\delta\varkappa$ und für die Bogen $\vartheta\varepsilon$ und $\varkappa\varepsilon$ annehmen.

Weiter behaupten wir, daſs sie sich in derselben Richtung bewegen können. Wir behaupten nämlich, daſs die Punkte $\delta\varepsilon$ sich in derselben Richtung (diesmal nach links) bewegen, wenn der Punkt ε sich auf dem Bogen $\varepsilon\zeta\gamma$ und der Punkt δ sich auf dem Bogen $\delta\varkappa\varepsilon$ bewegt, und sowohl ihre Entfernung von den Punkten ζ, $\varkappa$, als auch ihre Annäherung an dieselben sich gleich bleibt, sodaſs doch die Bewegung die gegensätzliche heiſst (weil ε nach oben, dann nach unten, δ nach unten, dann nach oben geht). Deshalb ist das Gleiche und das Gegensätzliche nur etwas Accessorisches, und man muſs bei jeder Bewegung die gleichartige und die entgegengesetzte auseinanderhalten. Diese unsere Auseinandersetzung muſs bei den gleichen Kreisen beachtet werden. Was die verschiedenen Kreise angeht, so werden wir es hiernach darlegen.

4 Über die verschiedenen Kreise. Seien nun die Kreise nicht gleich; und mögen ihre Mittelpunkte auf den beiden Punkten α und β liegen; sei ferner der gröſsere der beiden Kreise derjenige, dessen Mittelpunkt auf dem Punkte α liegt, so wird bei diesen Kreisen die Ordnung nicht vollkommen sein wie bei den gleichen Kreisen. Nehmen wir nun zwei Punkte an, die wir von dem Punkte ε aus umlaufen lassen und machen wir, um ein Beispiel dafür zu bieten, den Durchmesser $\gamma\varepsilon$ doppelt so groſs als den Durchmesser $\varepsilon\delta$, so wird der Bogen $\varepsilon\zeta\gamma$ das Doppelte des Bogens $\varepsilon\eta\delta$ sein, denn das hat bereits Archimedes bewiesen. Dann wird in derselben Zeit, in der der Punkt ε in seiner Bewegung nach γ hin, den Bogen $\varepsilon\zeta$ durchläuft, der Punkt ε in entgegengesetzter Bewegung den Bogen $\varepsilon\eta\delta$ durchlaufen. Ferner wird in derselben Zeit, in der der Punkt ε, bei ζ beginnend, den Bogen $\zeta\gamma$ durchläuft, der Punkt ε,

اعظم من الاخرى دارت الصغرى مرّات الى ان تدور الكبرى مرّة على حسب ما فيهما(1 من العظم ⊙

[٣] فاذ قد بان ذلك فى هذه المقدّمة فلندر دائرتين متساويتين اولاهما ح ه ك د والثانية ز ج ط ه على مركزى ا ب وتتماسّان على نقطة ه فاذا تحرّكتا من نقطة ه فى زمان واحد مقدار النصف منهما ففى ذلك الزمان علامة ه تجوز قوس ه ح د وتصير الى علامة د متحرّكة مثل حركة علامة ج *على قوس ح ط ه (2 فاذًا قد يمكن ان تتحرّك علامات ما فى جهة واحدة ويمكن ان تتحرك بالتضادّ أمّا ما يكون منها فى جهة واحدة فيتحرك بالتضادّ واما ما يكون(3 منها نظائر ففى جهة واحدة وقد يمكن ان يكون ما يقال له انّه يتحرك بالتضادّ(4 يتحرك فى جهة(5 واحدة لان العلامات ان تحرّكت وكانت حركتها من علامة واحدة وهى علامة ه وتوهّمنا خطّى زاط ح ب ك قائمين على خط ج د تكون الحركة التى على قوس ه ز ضدّ الحركة التى(6 على قوس ه ح لانّ احداهما تتحرك الى الجهة اليمنى والاخرى الى اليسرى وقد يمكن ان تكون الحركة فى جهة واحدة اذا توهّمنا بعد العلامات

1) Codd. فيها 2) CL om. 3) LC كان 4) K add. ان LC add. انّه 5) LK من جهة C من علامة 6) LC add. هى

so geht das kleinere öfter herum, bis das gröfsere sich einmal dreht, nach Mafsgabe der Gröfse, die sie besitzen.

3 Nachdem dies nun in dieser Einleitung klargelegt ist, mögen wir zwei gleiche Kreise, nämlich $\eta\varepsilon\varkappa\delta$ und $\zeta\gamma\vartheta\varepsilon$, um ihre Mittelpunkte α, β drehen, während sie sich im Punkte ε berühren. Wenn sie sich nun vom Punkte ε aus in derselben Zeit um den Betrag ihrer Hälfte bewegen, so durchläuft in dieser Zeit der Punkt ε den Bogen $\varepsilon\eta\delta$ und gelangt zu dem Punkte δ, indem er sich bewegt wie der Punkt γ auf dem Bogen $\gamma\vartheta\varepsilon$. Dann kann es vor-

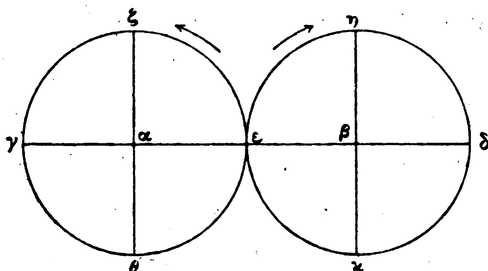


Fig. 2.

kommen, dafs Punkte sich in derselben Richtung bewegen und vorkommen, dafs sie sich gegensätzlich bewegen. Die auf derselben Seite liegenden bewegen sich gegensätzlich, die einander entgegengesetzten bewegen sich nach derselben Richtung. Es kann aber vorkommen, dafs Punkte, die als in entgegengesetzter Bewegung befindlich bezeichnet werden, nach derselben Richtung gehen (beide nach oben, oder beide nach unten). Denn, wenn Punkte sich bewegen, und ihre Bewegung von einem Punkte, nämlich dem Punkte ε, ausgeht, und wir zwei Linien $\zeta\alpha\vartheta$ und $\eta\beta\varkappa$ senkrecht auf der Linie $\gamma\delta$ denken, so ist die Bewegung auf dem Bogen $\varepsilon\zeta$ das Gegenteil der Bewegung auf dem Bogen $\varepsilon\eta$, da die eine nach der rechten, die andre nach der linken Seite geht. Die Bewegung kann

رش *وتكون ثابتة على محور اخر وهو محور خ ذ[1] فتكون فلكة ت ث تحتاج من القوّة الى اربعة قناطير والقوّة المفروضة لنا خمسة قناطير فتكون فى هذه القوّة زيادة قنطار يستظهر به لما عسى ان يعرض من عسر الفلك ⊙ فقد تبيّن ممّا وصفنا ان المحرك اذا حرك فلكة ت ث دار محور خ ذ ودار بدورانه فلكة ر ش ودار لذلك محور ى ص فدارت فلكة ف ق ودارت فلكة س ع معها ودار لذلك محور ك ل ودارت فلكة م ن وادارت فلكة ح ط ودار لذلك محور ه ز فالتفت القلوس على المحور وارتفع الثقل فقد رفعنا بقوّة خمسة قناطير ثقلًا مبلغه الف قنطار بهذه الحيلة التى وصفناها وذلك ما اردنا ان نبيّن ⊙ *حاشية ينبغى ان يخرج محور ذ خ الى ض ويقام عليه عمود ض ط مساويا لنصف قطر فلكة ت ث او اكثر منه[2] والله اعلم[3] ⊙

[٢] *فى الدوائر[4] انّ[5] الدوائر الثابتة على محور واحد تكون حركتها ابدًا الى جهة واحدة وهى الجهة التى يتحرّك اليها المحور والدوائر التى تكون على محورين ويتراكب بعضها فى بعض بدندانجات تكون حركتها الى جهتين مختلفتين فتكون احداهما الى ناحية اليمين والاخرى الى ناحية الشمال واذا كانت الدائرتان متساويتين استوفت دورة احداهما الى اليمين دورة الاخرى الى اليسار واذا كانتا غير متساويتين فكانت احداهما

so wird die Kraft, welche die Last bei dem Zeichen $\rho\sigma$ bewegt, 8 Talente sein; die von uns angenommene Kraft ist aber nur fünf Talente.

Richten wir also ein andres Zahnrad, nämlich das Rad $\tau\tau'$ ein, dessen Durchmesser das Doppelte des Durchmessers vom Rade $\rho\sigma$ sei, und sei es auf einer anderen Achse, der Achse $\eta'\delta'$ befestigt, so benötigt das Rad $\tau\tau'$ an Kraft vier Talente, sodafs bei dieser Kraft ein Überschufs von einem Talente vorhanden ist, dessen man sich zur Überwindung des Widerstandes der Räder, der etwa eintritt, bedient. Aus unserer Darlegung erhellt: Wenn der Bewegende das Rad $\tau\tau'$ in Bewegung setzt, dreht sich die Achse $\eta'\delta'$ und durch ihr Umdrehen dreht sich das Rad $\rho\sigma$; deshalb dreht sich die Achse $\varphi\iota$ und es dreht sich das Rad $\pi\chi$; zugleich damit dreht sich das Rad ξo und die Achse $\varkappa\lambda$; deshalb dreht sich das Rad $\mu\nu$ und das Rad $\mu\nu$ versetzt das Rad $\eta\vartheta$ in Umdrehung, weshalb sich auch die Achse $\varepsilon\zeta$ dreht, die Seile sich um die Achse aufwickeln und die Last sich hebt. Wir haben also durch eine Kraft von fünf Talenten eine Last im Betrage von 1000 Talenten gehoben, mittels des eben beschriebenen Mechanismus. q. e. d.

2 Von den Rädern. Die auf einer Achse befestigten Räder bewegen sich immer nach einer Seite, nämlich nach der Seite, nach der sich die Achse bewegt. Die Räder, die auf zwei Achsen sitzen, und mit Zähnen ineinandergreifen, bewegen sich nach zwei verschiedenen Richtungen, sodafs das eine nach der rechten, das andre nach der linken Seite geht. Sind die beiden Räder gleich, so entspricht eine Umdrehung des einen davon nach rechts völlig einer Umdrehung des andern nach links; sind sie aber ungleich, sodafs das eine gröfser ist als das andre,

---

1) CL om. 2) CK om. 3) L om. 4) CL om.
5) Codd. ولان

اعنى[1] الرجل المحرّك او الصبى الذى يمكنه ان يحرّك بنفسه بلا حيلة خمسة قناطير فاذا ادخلنا القلوس المشدودة فى الحمل من ثقب ما فى حائط اب حتى تلتفّ على محور هز فانّه يدور[2] فلكة حط وبالتفاف القلوس يتحرّك الحمل ولان تتحرّك فلكة حط يحتاج من القوّة الى مائتى قنطار لان قطر الفلكة خمسة امثال قطر المحور على ما فرضناه وذلك قد تبيّن فى براهين الخمس قوى ولكن ليس لنا قوة مائتى قنطار[3] فاذا الفلكة لاتتحرك فنعمل محورًا آخر موازيا لمحور هز وهو محور كل ولتكن عليه فلكة ثابتة ذات اسنان وهى فلكة من ولتكن فلكة حط ايضا ذات اسنان تتراكب على اسنان فلكة من ولتكن على محور كل فلكة اخرى ثابتة وهى سع يكون قطرها خمسة امثال قطر من فيحتاج من القوّة فى[4] ان نحرّك الثقل بفلكة سع الى اربعين قنطارا لانّ خمس المائتى قنطار اربعون قنطارا وايضا نركّب على فلكة سع فلكة اخرى وهى فلكة فق ثابتة على محور آخر وهو محور يص ولتكن على هذا المحور فلكة اخرى ثابتة عليه يكون قطرها خمسة امثال قطر فلكة فق[5] وهى فلكة رش فتكون القوّة التى تحرّك الثقل عند علامة رش ثمانية قناطير ولكن القوّة المفروضة لنا انّما هى قوة خمسة قناطير فلنركب فلكة اخرى ذات اسنان وهى فلكة تث وليكن قطرها مثلى قطر فلكة

Durchmessers der Achse $\varepsilon\zeta$. Um aber unsere Konstruktion durch ein Beispiel zu erläutern, mögen wir als die zu ziehende Last tausend Talente annehmen, und als bewegende Kraft fünf Talente, nämlich den Mann oder den Knaben, der allein, ohne Maschine, fünf Talente bewegen kann. Wenn wir nun die an der Last befestigten Seile durch ein Loch in der Wand $\alpha\beta$ einführen, sodafs sie sich auf der Achse $\varepsilon\zeta$ aufrollen, so wird sich durch die Umdrehung des Zahnrades $\eta\vartheta$ und durch das Aufrollen der Seile die Last bewegen lassen. Damit sich aber das Zahnrad $\eta\vartheta$ bewege, braucht man zweihundert Talente an Kraft, weil der Durchmesser des Zahnrades das Fünffache des Durchmessers der Achse ist, nach unserer Annahme — das ist in den Beweisen zu den fünf einfachen Potenzen dargethan worden. — Wir haben aber keine Kraft von 200 Talenten, da die von uns angenommene Kraft fünf Talente beträgt; also wird sich das Zahnrad nicht bewegen lassen. Konstruieren wir nun eine andere Achse, parallel der Achse $\varepsilon\zeta$, nämlich die Achse $\varkappa\lambda$, und sei darauf ein Zahnrad, nämlich das Rad $\mu\nu$, befestigt; habe ferner das Rad $\eta\vartheta$ ebenfalls Zähne, die in die Zähne des Rades $\mu\nu$ eingreifen, und sei auf der Achse $\varkappa\lambda$ ein anderes Rad befestigt, nämlich ξo, dessen Durchmesser das Fünffache des Durchmessers von $\mu\nu$ ist, so bedarf man, um die Last durch das Rad ξo zu bewegen, 40 Talente an Kraft, weil der fünfte Teil von 200 Talenten 40 Talente sind. Lassen wir weiter in das Rad ξo ein anderes Rad, nämlich das Rad $\pi\chi$, das auf einer andern Achse, nämlich der Achse $\varphi\iota$ festsitzt, eingreifen, sei ferner auf dieser Achse ein andres Zahnrad befestigt, dessen Durchmesser das Fünffache des Durchmessers von $\pi\chi$ ist, nämlich das Rad $\varrho\sigma$,

---

1) LC فاذاكان 2) Codd. فان يدور 3) K add. لان القوّة المفروضة لنا خمسة قناطير 4) CK الى 5) LC add. ثابتة على محور ى ص

بسم الله الرحمن الرحيم ربّ يسّر برحمتك

المقالة الاولى من كتاب ايرن فى رفع الاشياء الثقيلة امر باخراجه من اللغة اليونانيّة الى اللغة العربيّة ابو العباس احمد بن المعتصم وتولّى ترجمته قسطا[1] ابن لوقا البعلبكّى

[ا] نريد ان نحرّك الثقل المعلوم بالقوّة المعلومة بتراكيب فلك ذات اسنان فيعمل[2] شكل ثابت شبيه بالصندوق وليكن فى حيطانه الطوال المتوازية محاور متوازية ويكون بعدها بالقدر الذى تتراكب الاسنان التى لاحدها[3] فى الاسنان التى للآخر كما سنبيّن فليكن هذا الشكل صندوق عليه[4] ا ب ج د وليكن فيه محور موضوع تكون حركته سلسة وهو ه ز ولتكن عليه فلكة مسنّنة ثابتة عليه وهى فلكة ح ط وليكن مثلًا قطرها خمسة امثال قطر محور ه ز ولان يكون عملنا ممثّلًا نصيّر الثقل الذى نريد ان نجرّه الف قنطار والقوّة المحرّكة[5] خمسة قناطير

1) K قسطنطين 2) K add. كل 3) L احدهما 4) L om. 5) K add. له

DIE MECHANIK DES HERON VON ALEXANDRIA.

ERSTES BUCH.

1 Wir wollen eine bekannte Last mittels einer bekannten Kraft durch den Mechanismus von Zahnrädern bewegen.

Zu diesem Zwecke macht man ein Gestell, ähnlich einer Kiste, in deren längsten, parallelen Wänden parallele Achsen ruhen, in einem so bemessenen Abstand, daſs die Zähne der einen in die Zähne der anderen eingreifen, wie wir gleich auseinandersetzen werden.

Es sei dieses Gestell eine Kiste, bezeichnet mit $\alpha\beta\gamma\delta$, darin ruhe eine leicht bewegliche Achse, bezeichnet $\varepsilon\zeta$,

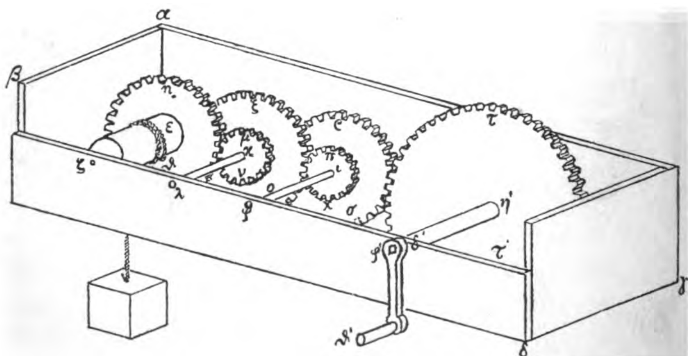


Fig. 1.

auf der ein Zahnrad, das Rad $\eta\vartheta$, befestigt sei. Sein Durchmesser betrage beispielshalber das Fünffache des

DIE MECHANIK.

3) II, 5 S. 107, 4 = Pappus 1124, 21 وقد يمكنا = ἔξεστιν δὲ
4) II, 5 S. 109, 8 = Pappus 1126, 18 وقد يمكنا = ἔξεστιν δὲ.

Aus diesen Stellen läſst sich durchaus nichts für eine etwaige Erklärung dieser seltsamen Erscheinung entnehmen. Daſs δὲ nicht durch قد übersetzt sein kann, ist klar, da diesem wohl das و entsprechen dürfte. Es müssen also zunächst andere Beispiele für diese (und einige andere) Eigentümlichkeiten etwa aus anderen Übersetzungen des Kosta ben Luka beigebracht werden, ehe man sich an eine Erklärung heranwagt.

---

die angiebt, wie die „starken Speichen“ auf griechisch heifsen. Das Wort ist unpunktiert und sieht so aus: دربا. Ich möchte entweder برنا oder بربا punktieren, und darunter das griechische Wort περόνη oder sein Synonym πόρπη finden, da der Dorn einer Schnalle ähnlich in den Riemen einsticht wie die Speichen in das Rad an der Welle.

VII. DIE SPRACHE DES ARABISCHEN ÜBERSETZERS.

Zum Schlusse möchte ich nun nur noch eine kurze Bemerkung über das Arabische der Übersetzung des Kosta ben Luka anfügen. Die Abweichungen vom Altarabischen dürften hauptsächlich den Abschreibern zur Last fallen, die aus Unachtsamkeit und mangelndem Verständnis Punktations-, Kasus- und Kongruenzfehler reichlich haben einreifsen lassen, die ich nicht überall korrigiert habe. Die Kategorie der Kongruenzfehler ist besonders bei dem Pronomen und Adjektiv stark vertreten; aufserdem ist die Syntax der determinierten Kardinalzahlen sehr häufig die moderne, indem der Artikel vor dem Zahlwort steht, aber bei dem folgenden Substantiv fehlt. Ebenso hat bei غير immer dieses und nicht das folgende Wort den Artikel, wie im modernen Gebrauch. Zuletzt ist noch eine, so weit ich es beurteilen kann, nur in unserer Übersetzung vorkommende Eigentümlichkeit zu erwähnen, nämlich das häufige Auftreten von قد vor dem Imperfektum in konstatierendem Sinne, nicht mit der Bedeutung manchmal oder dergl. Vier Stellen, wo dieses قد vorkommt, sind griechisch erhalten, nämlich:

1) II, 2 S. 99, 11 = Pappus 1118, 23 علمت انه قد يمكن = ἐνόησαν ὅτι δυνατὸν
2) II, 2 S. 101, 20 = Pappus 1120, 24 وقد يجب = οὕτως δὲ δεῖ

χυλόω zusammenhängt. So wird also wohl hier ein Mifsverständnis des arabischen Übersetzers vorliegen.

18) Ein andres Beispiel von allzuwörtlicher Übersetzung finden wir III, 15, wo mehrfach von einem „Backstein“ die Rede ist. de Vaux übersetzte das Wort mit andrer Punktierung „Kissen“, doch dürfte ersteres richtig sein, wenn wir nach einer Vermutung des Herrn Dr. Schmidt annehmen, dafs im Griechischen an den betreffenden Stellen πλινθίον, Ziegel, Platte, gestanden hat, was ganz gut pafste.

19) III, 8 ist von zwei eisernen Pflöcken die Rede, vom Aussehen des حرف غما٩ (vgl. die vv. ll.). De Vaux übersetzte nach seiner Konjektur „en forme de crochet“. Die drei ersten Buchstaben sind aber in allen Handschriften sicher und bei de Vaux's Übersetzung bleibt حرف unberücksichtigt. حرف ist wieder wie oben I, 18 Buchstabe und unter dem Folgenden vermute ich den Buchstabennamen Gamma. Gamma würde, allerdings in der älteren Form ɾ, die vielleicht durch den überstrichenen Haken dargestellt werden sollte, aber durch Abschreiber in die in der Note zur Stelle angegebenen Formen gebracht wurde, für den Vergleich mit der Form der in Fig. 53 oben gezeichneten Pflöcke wohl geeignet sein, und es wäre also غما zu lesen, wie ich auch im Text geschrieben habe.

20) III, 13, 14 kommt in verschiedener Form ein Wort vor, welches de Vaux einmal als dem griechischen ληνός entsprechend, das andere Mal als λᾶας gefafst hat. Nun bedeutet ληνός niemals den Prefsbalken, und λᾶας ist ein so seltenes Wort, dafs es wohl nicht hier, III, 14, gestanden haben wird. Ich halte die beiden einander sehr ähnlichen Schriftzüge für dasselbe Wort, nämlich لثس, als Transskription des griechischen λίθος und emendiere die Stelle III, 13 so wie im Text gedruckt ist, wodurch ein vollständig guter Sinn geboten wird. Vgl. die Übersetzung dieser Stelle.

21) III, 15 hat B (und zwar nur B) zu „lange Speichen“ S. 228, 22 (Text S. 231, 5) eine Anmerkung,

10) منغنن = μάγγανον die Achse am Flaschenzug, auf der die Räder sitzen. II, 3.

11) طولس = τύλος ein hölzerner Zapfen. II, 5.

12) قانون pl. قوانين = κανών Lineal. I, 15. II, 5.

13) اودس = ὀδός oder οὐδός die Schwelle. III, 3.

14) اورس = ὄρος Prefsbalken. III, 15 vgl. Nr. 17.

15) طرمس liest de Vaux zu III, 15 τράμις. Das pafst aber hier nicht; ich lese τόρμος, was sich besser mit dem Sinn der Stelle vereinbaren läfst; doch ist diese Stelle in ihren Einzelheiten recht unklar.

Es verbleiben noch einige Wörter, die gewisse Schwierigkeiten bieten.

16) Zunächst tritt II, 5 und II, 11 ein Wort auf, das alle Handschriften سلاح schreiben, wofür de Vaux ساذج las und es mit σύζυξ zusammenbrachte. Die Lesung سلاح dürfte aber richtig sein. Denn II, 5 verglichen mit Pappus 1126, 13 zeigt, dafs der Araber eine kleine Erläuterung eingeschoben hat, um das Wort für Seil ὅπλον zu erklären. Er sagt nämlich (wörtlich): Wir nehmen ein Seil von den Seilen, welche سلاح genannt werden. ὅπλον im Sinne von Seil war ihm wahrscheinlich nicht sehr geläufig; da es aber hier Seil heifsen mufs, setzte er die Erklärung bei und übersetzte in derselben ὅπλον in der ihm bekannten Bedeutung „Waffe" mit dem dieser Bedeutung entsprechenden Wort سلاح.

17) Ähnlich ist die Stelle III, 13, wo ὄρος der Prefsbalken, ebenfalls wohl wegen seiner, dem Übersetzer nicht geläufigen Bedeutung fälschlich für τὸ ὄρος gefafst und mit der dem letzteren Worte eignen Bedeutung „Berg" arab. جبل wiedergegeben, während es III, 15 als Lehnwort اورس (vgl. Nr. 14) geschrieben wird. Der erste Herausgeber wollte خبل lesen und dies mit dem griechischen χυλόω zusammenbringen. Doch giebt es, soweit ich in den Lexica sehe, kein Wort für Prefsbalken, das mit

hatte eine Zeitlang daran gedacht, statt اللحاحات zu lesen اللحأيات. Doch ist ein derartiger Plural von لحاة oder ähnliche Femininplurale von Singularen tertiae hamzae nicht zu belegen, so weit wenigstens meine Untersuchungen reichen. Ich schlage also einstweilen noch لحآت vor. Dasselbe Wort لحاحات (vgl. die vv. ll. zur Stelle) tritt noch einmal auf III, 15 bei der zweiten Hebelpresse. Dort kann es aber nicht Wiedergabe des griechischen χελώνη sein, denn es ist daselbst die Rede von Schwellen, durch welche die auf dem Preſsbalken laufende Rolle (vgl. Fig. 57) verhindert werden soll, sich weiter zu bewegen als nötig ist. χελώνη hat nun nicht die Bedeutung Schwelle oder dergl., wohl aber könnte im griechischen Texte hier χελώνειον gestanden haben, und von dem arabischen Übersetzer durch لحاة „Kröte" wiedergegeben worden sein. Auf diese Vermutung brachte mich Blümners Technologie III, S. 127, wo chelonia in ganz ähnlicher Weise als Hemmungen gegen das Herabrutschen des Seiles, an welchem der Flaschenzug angebunden ist, bei Vitruv (s. unten S. 380) gebraucht wurden. Vgl. χελωνάριον = κωλυμάτιον Bd. I, 100, 3, 4.

Lehnwörter, die ohne weiteres identifiziert werden können, sind folgende:

4) مخل pl. امخال = μοχλός Hebel. II, 1 u. ö.

5) غالاغرا I, 1 u. ö. = γαλεάγρα.

6) اسفين pl. اسافين = σφήν Keil. Die Lexika geben nur سفين an, doch hat der arabische Text durchgehends اسفين.

7) برطركين (nach einer Konjektur de Vaux's) = περιτρόχιον das Rad (an der Welle). II, 1 u. ö. Vielleicht besser برطرخين zu schreiben.

8) قلس pl. قلوس = κάλως Tau. II, 1 u. ö.

9) ابومخليون = ὑπομόχλιον der Stein unter dem Hebel. II, 2 u. ö.

Übersetzung hat dafür: à la pince que l'on appelle chélé. Zunächst hat حرف niemals die Bedeutung pince, wenigstens geben sie die Wörterbücher nicht an und hinter هولا das griechische χηλή zu finden, ist so gut wie unmöglich. Ich nehme حرف in der allgemein bekannten Bedeutung Buchstabe und es ergiebt sich die Vergleichung des dreiarmigen Eisens mit dem griechischen Buchstaben Ypsilon ganz von selbst. Das Wort هولا wäre natürlich stark verderbt, wenn es den ganzen griechischen Namen Ypsilon darstellen sollte. Da aber die übrigen Lehnwörter alle sehr oder ziemlich gut erhalten sind, dürfen wir vielleicht in den beiden ersten Zeichen den Laut des Ypsilon (mit *h* für den Spiritus lenis, weil أو für anlautendes *o* steht, z. B. Nr. 13 u. 14) und in den beiden letzten Zeichen die verderbte Wiedergabe der Form des grofsen griechischen Ypsilon erkennen (vgl. unten Nr. 19). Doch sei diese Deutung nur mit allem Vorbehalt gegeben.

Der Vergleich des Eisengestelles nach Biegung der Arme (ohne den Stab) mit einer Galeagra, wie sie III, 16 beschrieben wird, dürfte wohl nicht zu gewagt sein, wenn man sich eine Galeagra mit nur drei Seiten, statt der III, 16 angegebenen vier, denken will.

3) I, 21, S. 58, 5 vermutet de Vaux unter dem handschriftlichen لكلانات wie III, 1 das griechische χελώνη. Die letzte Stelle weist aber darauf hin, dafs dahinter ein arabisches Wort steckt. Die Stelle III, 1 ist griechisch erhalten und lautet Pappus 1130, 11 u. 12: *Τὰ μὲν οὖν ἀγόμενα ἐπὶ τοῦ ἐδάφους, φησίν, ἐπὶ χελώνας ἄγεται. ἡ δὲ χελώνη πῆγμά ἐστιν κτλ.* Da nun die im Arabischen den beiden Worten χελώνας und χελώνη entsprechenden Ausdrücke eine grofse Ähnlichkeit im Konsonantengerippe aufweisen, das χελώνη korrespondierende aber gut arabisch ist, so vermute ich in dem in Rede stehenden Wort nur eine kleine Verderbnis und lese اللكجات als Plural des χελώνη vertretenden اللكجاة in III, 1. Ich

Beweglichkeit der Platten nur für 180° denken, wohl auch die Dreieckspunkte mehrfach an verschiedenen Stellen bestimmt werden, um immer nur nach oben zugespitzte Pyramiden zu erhalten. Für das Verständnis des zweiten Teils von I, 19 wird das eben Gesagte und die dort gegebenen kurzen Anmerkungen wohl genügen.

Zu III, 20, Fig. 60 ist zu bemerken, dafs meine Rekonstruktion der Presse mit einer Schraube etwas einfacher ist, als Heron angiebt. Er dachte sich wohl die Prefsplatte rechts und links in den Nuten der beiden Pfosten laufend wie in Fig. 59.

Bei den übrigen Rekonstruktionen habe ich die Bezeichnungen der Figuren an den betreffenden Stellen der Übersetzung eingefügt, was dem Leser hoffentlich eine gewisse Erleichterung bei schwierigen Partien, wie III, 21, gewähren wird.

VI. DIE GRIECHISCHEN LEHNWÖRTER IN DER MECHANIK.

Es erübrigt noch, die in dem arabischen Text vorkommenden griechischen Lehnwörter kurz zu besprechen.

1) Mech. I, 18, S. 37, 20 wird für die, die beiden Platten zusammenhaltenden und ihre Beweglichkeit bedingenden Scharniere ein Wort gebraucht, das offenbar verderbt ist. Ein Ausdruck für eine solche Einrichtung ist sonst *στροφωμάτια*, das zweimal bei Heron vorkommt. Das läfst sich aber aus dem Konsonantengerippe des arabischen Wortes nicht herauslesen. Ich möchte das griechische Wort *ἁρμογή* darin wiedererkennen, das sich viel leichter mit dem arabischen Wortbild zur Übereinstimmung bringen läfst. Es wäre dann mit arabischer Pluralendung هرماوجات harmogât zu schreiben.

2) In demselben Paragraphen S. 38, 5 wird von den dreiarmigen Eisengestellen, ehe von dem daran befestigten Zinnstab und der Biegung der Arme die Rede ist, gesagt, sie gleichen الحرف الذى يسمى هولا. Die französische

gröfseren auf die am Modell angenommenen Punkte, und die Punkte $\nu o \xi$ des kleineren auf die an der Verkleinerung gefundenen Punkte fallen. Jetzt zeichnen wir auf der Platte *ab* zwei diesen beiden kongruente Dreiecke, wie sie Fig. 10 darstellt. Dann biegen wir die Spitze *S* des gröfseren Gestelles nach einem beliebigen Punkte des Modells, setzen das Gestell so auf die Platte *ab*, dafs die Spitzen $\eta \varepsilon \zeta$ auf die gleich bezeichneten Dreieckspunkte fallen, heben die Platte *cd*, bis sie die Spitze *S* trifft und halten sie durch die bei *c* angebrachte Einrichtung in dieser Lage. Die Spitze *S* bestimmt so den Punkt *m* auf *cd*, und die Lage der beiden Platten den Winkel, den $S\eta\zeta$ nud $\eta\varepsilon\zeta$ auf dem Modell mit einander bilden. Durch $n\xi$ parallel zu $m\zeta$ wird auf *cd* der Punkt *n* bestimmt. Wir bringen nun das kleinere Gestell auf $\nu o \xi$ und biegen die Spitze *s*, bis sie den Punkt *n* auf *cd* trifft. Übertragen wir das Gestell auf die Verkleinerung, so giebt *s* die Lage des Punktes *n* auf derselben an, und *n* entspricht dem Punkt *m* des Modells, indem $m\eta\varepsilon\zeta$ und $n\nu o\xi$ zwei einander ähnliche Pyramiden bestimmen. Durch Bestimmung immer weiterer Punkte wird die gestellte Aufgabe gelöst.

Heron scheint sich die Beweglichkeit der Platten so gedacht zu haben, dafs der gröfste Winkel, den die eine mit der anderen bildet, 180^0 beträgt; darauf dürfte wohl der erste Abschnitt von I, 19 hindeuten. Dort wird nämlich zur Herstellung der Rückseite der Körper angegeben, man solle die drei Punkte auf der Rückseite der Körper annehmen. Das wäre m. E. nicht nötig, wenn die Platten so beweglich wären, dafs sie auch Winkel von mehr als 180^0 mit einander bilden könnten. Dann könnte man mit den Zinnstäben — ihre erforderliche Biegsamkeit vorausgesetzt — auch nach unten zugespitzte Pyramiden bestimmen, wobei es einerlei ist, ob das von der Spitze derselben auf die Grundfläche gefällte Lot innerhalb oder aufserhalb des Grunddreiecks fiele. Je nach Beschaffenheit der Körper müfsten, wenn wir die

Erleichterung des Verständnisses erlaube ich mir, meine Auffassung hier kurz darzulegen. Die Konstruktion ähnlicher körperlicher Figuren, wie sie der Abschnitt zur Aufgabe stellt, beruht auf folgenden zwei Sätzen. Erstens: Die Lage eines Punktes im Raume gegen eine gegebene Ebene, die nicht durch diesen Punkt geht, ist bestimmt durch die Entfernung des Punktes von zwei in dieser Ebene bekannten Punkten und durch den Winkel, den die durch die drei Punkte bestimmte Ebene mit der gegebenen bildet.

Zweitens: Ähnliche Pyramiden verhalten sich wie die Cuben von zwei homologen Seiten ihrer Grundflächen.

Die Anwendung dieser beiden Sätze auf die gestellte Aufgabe geschieht in dieser Weise: denken wir uns ein Modell, etwa eine Büste, wovon eine Verkleinerung nach einem gegebenen Verhältnis in einem daneben stehenden Marmorblock hergestellt werden soll. Man nimmt nun auf dem Modell drei benachbarte Punkte an, die ein Dreieck und dessen Ebene bestimmen. Denken wir uns ferner das Modell von einem rechtwinkligen Parallelepipedon so umschlossen, dafs die äufsersten Punkte des Modells in die Wände des Parallelepipedons fallen, so können wir die drei angenommenen Punkte auf die nächstgelegene Wand projizieren, indem wir durch die Punkte Parallelen zu den an die eben genannte Wand anstofsenden Wänden ziehen. Durch Umrechnung der Mafse in das neue Verhältnis und Messen der Winkel können wir auf dem Block ein dem projizierten Dreieck ähnliches und ähnlich gelegenes finden. Bohren wir nun von den so gefundenen Dreieckspunkten parallel zu den Wänden des ebenfalls parallelepipedisch gedachten Marmorblockes und unter Berücksichtigung des zu reduzierenden Verhältnisses der am Modell gezogenen Parallelen in den Marmorblock ein, so haben wir auf der Verkleinerung ein dem auf dem Modell zuerst bestimmten Dreieck ähnliches und ähnlich gelegenes gefunden. Wir konstruieren nun die im Texte beschriebenen Eisengestelle so, dafs die Punkte $\eta \varepsilon \zeta$ des

direction“ etc. Dies letztere dürfte nach Herons Beschreibung zu Anfang von I, 15 nicht möglich sein, da er sagt: „machen wir zwei Scheiben um denselben Mittelpunkt, die darauf festsitzen“. Dies fasse ich so auf, daſs die beiden Scheiben nur zusammen gedreht werden können, nicht aber jede für sich. Ferner nehme ich مهندمة in Zeile 3 nicht zum Folgenden wie der französische Übersetzer, sondern zum Vorhergehenden اسنان und übersetze: gleichmäſsig gezahnte Scheiben; d. h. die kleinere habe ebensoviel Zähne als die gröſsere, so daſs auch die kleinen Zähne den gröſseren proportional sind, wie ich es in der Fig. 8 durch die Linien *abc*, *adi*, *afg* angedeutet habe. Die Merkpunkte *m* und *n* sollten nun streng genommen in den Zahnlücken angesetzt werden; das wäre unbequem. Macht man aber die Lineale *onl* und *rmp* derartig, daſs ihre Breiten in demselben Verhältnis stehen, wie die Radien der Scheiben (bis zur Zahnspitze gerechnet), so kann man die Merkpunkte auch auf der äuſseren, geraden Seite der Lineale annehmen, wie es die Figur darstellt. Denkt man sich nun das obere Ende der Lineale ganz nahe oberhalb der Punkte *m* und *n*, und verschiebt das Lineal *lno* z. B. um zehn Zähne, so geht das Lineal *pmr* von selbst um zehn Zähne mit, weil die beiden Scheiben fest auf einander sitzen, und die Punkte *m* und *n* bilden, wie immer die Lineale verschoben werden mögen, mit *a* fortwährend eine gerade Linie, wie es Heron Kap. 15 Z. 10ff. verlangt, und es verhält sich immer *am* zu *an* wie der Radius der kleineren Scheibe zu dem der gröſseren. So braucht man mit dem einen Merkpunkt nur die gegebene ebene Figur, zu der man eine ähnliche machen will, nachzufahren, damit der andere von selbst die ähnliche beschreibt. In dieser Weise ist das Instrument das Urbild unseres Storchschnabels, mit dem Unterschiede, daſs man es für jedes neue Verhältnis neu anfertigen muſs, während der Storchschnabel für mehrere Verhältnisse verstellbar ist.

I, 18 ist infolge der etwas verworrenen Anordnung der Bedingungen ziemlich schwer verständlich. Zur

Fig. 8 bedarf einer kleinen Erläuterung, da mir de Vaux in der ersten Ausgabe S. 58, Note 1, Fig. 9 (im Separatabzug) auch theoretisch nicht ganz das Rich-

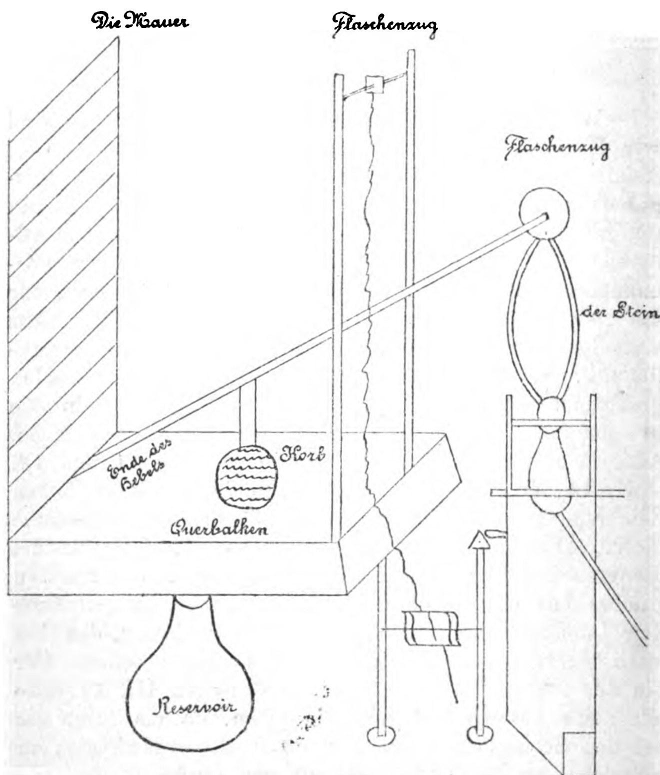


Fig. 56 a.

tige getroffen zu haben scheint. De Vaux sagt daselbst Z. 10/11 von unten: „La ligne $A'B'$, tangente au cercle OB', est venue dans la rotation occuper une position parallèle à celle de AB; je la déplace aussi dans sa propre

ständig isoliert, während es sich im zweiten mit einer Anzahl von Sätzen über die Auffindung des Schwerpunktes gut vereinigen liefse. Einstweilen fehlen aber noch die Mittel, diese Frage zu entscheiden und wir müssen uns mit dem überlieferten Texte begnügen, wie er nun einmal angeordnet ist.

V. DIE FIGUREN.

Was nun die beigegebenen Figuren betrifft, so sind wir Herrn Barbier de Meynard, Präsidenten der Société Asiatique zu Paris, der uns die Clichés der ersten Ausgabe durch Vermittelung des Herrn Baron Carra de Vaux gütigst überliefs, aufserordentlich verbunden. Die Grundlagen der Figuren bilden die im Leidener Codex vorhandenen Zeichnungen, die zum gröfsten Teile schon für die erste Ausgabe umgezeichnet wurden, soweit sie nicht einfache geometrische Gebilde darstellen. Zur Veranschaulichung, wie die Figuren in der Handschrift von Leiden gezeichnet sind, habe ich die der ersten Hebelpresse in genauer Nachbildung als Figur 56a beigegeben. Aufserdem verweise ich noch auf Fig. 1, 8, 11 und 12, sowie 14 der ersten Ausgabe, welche die handschriftlichen Zeichnungen zu Fig. 1, 8, 10 und 11 der neuen Ausgabe bieten. Für die Pressen mit einer und zwei Schrauben, die erste Hebelpresse und die Figur zu Kap. 18 des ersten Buches hat mir Baron de Vaux seine Zeichnungen nach dem Londoner Manuskript freundlichst überlassen, das aber auch nichts Besseres bietet als der Leidener Codex. Für die aus Platten zusammengesetzte Galeagra III, 17 habe ich keine besondere Figur beigegeben, da sie durch die bei den Schraubenpressen Fig. 59 u. 60 gezeichneten in hinreichender Klarheit dargestellt sein dürfte.

Über meine Rekonstruktionsversuche möchte ich hier noch einiges bemerken.

Figur 1 ist auf der Grundlage der handschriftlichen Figur nur perspektivisch umgezeichnet, um die Sache besser zu veranschaulichen.

haben. Vorher möchte ich nur noch eine Randbemerkung zum ersten Paragraphen des ersten Buches mitteilen, die sich nur in einer Handschrift, der Leidener, findet und inhaltlich gerechtfertigt ist, da sie sich auf Fig. 1 bezieht. Sie lautet (L am Schlufse von I, 1): حاشية ينبغى ان يخرج محور ذح الى ض ويقام عليه عمود (ms. عمودا) ضط مساويا (ms. مساو) لنصف قطر فلكة تت او اكثر والله اعلم ⊙ Zu deutsch: Man mufs die Achse $\eta'\delta'$ nach φ' verlängern und darauf eine Senkrechte $\varphi'\vartheta'$ gleich dem Halbmesser des Rades $\tau\tau'$ oder etwas gröfser errichten (als Handhabe).

Die erste wirkliche Interpolation ist I, 29. Dieser Abschnitt unterbricht die Darlegung über die Verteilung der Last auf Stützen, ohne in irgend einer Beziehung dazu zu stehen. Der Paragraph klingt ja ganz „mechanisch", zeigt auch einen Anklang an II, 33, indem S. 80, 2 ff. einen ähnlichen Gedanken ausspricht wie S. 174, 1 ff.; ich wüfste aber keinen passenden Platz für das Kapitel in der Mechanik anzugeben, wenn es nicht etwa mit I, 20—23 eine Gruppe gebildet haben sollte. Ebenso giebt sich II, 21, S. 146, 31—148, 5 als Interpolation zu erkennen; denn dieser Abschnitt spricht von Dingen, die mit dem Vorhergehenden und Folgenden keinen Zusammenhang haben, auch nicht in dem „vorhergehenden Buch" auf das 148, 5 verwiesen wird, besprochen sind. Es ist mir aber leider auch nicht gelungen ausfindig zu machen, woher diese Eindringlinge gekommen sein mögen.

Eine zweifelhafte Stelle ist noch I, 21, 14—18, indem ganz unklar ist, wo im Vorhergehenden schon von Cylindern und Kugeln geredet worden sein soll.

Schliefslich hat sich mir noch die Frage aufgedrängt, ob I, 24 an der rechten Stelle steht und nicht vielleicht mit II, 35 bis Schlufs des zweiten Buches zusammenzustellen wäre. Im ersten Buch steht das Kapitel voll-

struiere, deren Gewinde in ein gegebenes Zahnrad eingreife; er werde es aber auch selbst darlegen, wie es auch später 1108, 30 ff. geschieht. Bei dieser Verweisung auf Heron hat Pappus offenbar unseren Einschub im Sinne. Heron zeigt nun aber hier nicht, wie man eine Schraube konstruiert, die in ein Zahnrad eingreift, sondern das Umgekehrte. Das thut aber auch Pappus 1110. Denn er konstruiert erst die Schraube ohne Rücksicht auf ein gegebenes Zahnrad und bringt dann an einer runden Scheibe Zähne an, die in das zuerst gemachte Schraubengewinde passen. Hieraus ergiebt sich aber die Konstruktion einer Schraube zu einem gegebenen Zahnrad von selbst, indem die Höhe des Schraubenganges gleich dem Abstand zweier Zahnspitzen genommen und das Gewinde der Zahnlücke entsprechend ausgeschnitten wird. Ein Unterschied zwischen Pappus und Heron besteht nur insofern, als Pappus ein linsenförmiges Gewinde, Heron ein viereckiges annimmt. Pappus schlägt in seinem Verfahren zwei Fliegen mit einer Klappe, indem er auch die Lösung der schwierigeren Aufgabe bietet, ein Zahnrad zu einer gegebenen Schraube zu konstruieren.

Dafs dieser Einschub nun in I, 19 nicht an der richtigen Stelle steht, ist aus der Umgebung desselben im Vergleich mit seinem Inhalte klar ersichtlich. Für die Stelle, wo er einzuschalten wäre, giebt m. E. Pappus einen Fingerzeig. Nachdem er die Konstruktion der Schraube und des dazu passenden Zahnrades gegeben hat, schreibt er 1114, 8—21 Kap. 18 des zweiten Buches der Mechanik S. 140, 5—22 wörtlich aus, das sich auch ganz sachgemäfs der Konstruktionsaufgabe anschliefst. Vermutlich hat Pappus die Anordnung der Kapitel hier aus Heron herübergenommen, so dafs der richtige Platz des besprochenen Einschubs mithin zwischen Kap. 17 und 18 des zweiten Buches zu suchen wäre.

Handelte es sich bisher um Umstellungen des Textes, so haben wir jetzt einige Abschnitte anzuführen, die eingeschoben sind, ohne mit dem Text etwas zu thun zu

mehrere der Fragen in II, 34; so möchte auch eine Anlehnung an ihn zu Anfang des Buches nicht ganz unwahrscheinlich sein. Wir dürfen also wenigstens die sachliche Vollständigkeit der Mechanik des Heron als sicher annehmen.

Anders steht es nun mit der formellen Vollständigkeit der Schrift, der Unversehrtheit. Abgesehen von den Auslassungen der Handschriften, die sich, wie bereits erwähnt, durch Vergleichung der verschiedenen Exemplare ergänzen lassen, ist nur eine Lücke nachzuweisen, nämlich im Eingang des 33. Kapitels des ersten Buches. Der erste Herausgeber hat diese Stelle bereits in seiner Übersetzung vervollständigt, und ich habe mich ihm angeschlossen. Ferner sind zwei stark verderbte Stellen in allen Handschriften vorhanden, nämlich I, 15, S. 33, 10—11 und I, 17, S. 37, 11, die ich nach den Resten und nach sachlichen Erwägungen zu emendieren versucht habe. Zahlreiche kleinere Verderbnisse sind aus den Noten zum arabischen Texte leicht zu ersehen. Über eines dieser Verderbnisse bin ich nicht ganz ins Reine mit mir gekommen, nämlich 225, 2. Dort schlägt de Vaux für die offenbar unverständlichen Lesungen der Handschriften die im Text stehende Konjektur vor. Diese verstehe ich aber, offen gestanden, ebenso wenig wie die Lesungen der Handschriften. Vielleicht ist dafür الاطراف zu lesen. Sodann wären hier die Umstellungen des Leidener Codex und desjenigen von Konstantinopel im ersten Buch zu erwähnen, auf die oben S. XX schon hingewiesen ist.

Ferner gehört hierher ein Einschub im Paragraphen 19 des ersten Buches, S. 48, 4—54, 9 dieser Ausgabe. Dieses Stück fehlt in der ersten Ausgabe, weil es in der Leidener Handschrift nicht steht, obgleich dieselbe zwei von den dazugehörigen Figuren (Fig. 13 der ersten Ausgabe) beim Kap. 19 bietet. Für die Echtheit dieses Stückes spricht Pappus 1068, 1—3. Dort sagt Pappus, Heron habe in seiner Mechanik gezeigt, wie man eine Schraube kon-

dafs nämlich das Vorhergegangene für die ersten Darlegungen einer Einführung in die Mechanik genüge. Dafs nun aber das erste Kapitel des ersten Buches nicht den Anfang des ganzen Werkes gebildet hat, geht klar aus seinem Inhalt hervor, der viel mehr voraussetzt als im ersten Buche behandelt wird. Ich habe schon oben S. XV Zweifel an der Echtheit dieses Kapitels geäufsert. Sicher dürfen wir nun behaupten, dafs es nicht an der richtigen Stelle steht, sondern dafs der zweite Paragraph das Buch, wenigstens sachlich, beginnt. Vor Beginn des zweiten Kapitels hat die Leidener Handschrift folgende Bemerkung: „Hier ist im Griechischen eine Lücke“. Weiter, offenbar als Glosse zu dieser Note: „Dies wurde geschrieben in der Vermutung, dafs es sich so verhält“. Statt dieser Bemerkungen hat K.: „Diese Handschrift ist frei von der Lücke, die sich in anderen findet“. Was hat nun hier noch im Griechischen gestanden? Oben S. XIII ist schon darauf hingewiesen, dafs der griechische Text des ersten Kapitels nur in seinen vier ersten Alinea mit dem Arabischen zusammengeht. Bezieht sich nun die Bemerkung über eine Lücke auf den Rest des griechischen Textes, der in der Vorlage des Übersetzers fehlte, von diesem aber wenigstens sachgemäfs selbständig ergänzt wurde? Dann hätte er aber wohl nicht von einer Lücke geredet, vielleicht eher gesagt, er habe die Lücke des Griechischen ausgefüllt. Andererseits ist der Umfang des ersten Buches innerlich und äufserlich ein solcher, dafs wir kaum anzunehmen brauchen, es sei sachlich etwas ausgefallen. Wenn also etwas fehlt, so dürfte es vielleicht eine Widmung oder allgemeine Einleitung gewesen sein, wie sie Hultsch in den Commentationes philologae in h. Th. Mommsen Berlin 1877, S. 120 aus Pappus zu rekonstruieren versuchte. Dafs nichts zur Materie des Buches Gehöriges fehlt, möchte ich auch daraus schliefsen, dafs die Entwickelung des Gegenstandes ganz ähnlich beginnt wie in der Mechanik des Aristoteles, nämlich mit der Bewegung der Kreise oder Räder. Entlehnungen aus Aristoteles sind

δὲ ἡ ἐπίτασις fehlt im Arabischen. Z. 24 τουτέστιν δι' ἐλάσσονος πληγῆς fehlt im Ar.

1122, 26—1128, 2 = Mech. II, 5, S. 104 ff. 1124, 2 καὶ στροφῆς fehlt im Ar. Z. 24 ff. im Arabischen weitschweifiger.

1128, 3—1130, 3 = Mech. II, 6, S. 108—112.

1130, 4—7 = Mech. II, 7, S. 112, 8—11.

1130, 7 bezieht sich auf Mech. II, 7 ff.

1130, 11—1134, 11 = Mech. III, 2, S. 202. 1132, 14 ἐκ πλειόνων συμβλητόν γίνεται fehlt im Ar. 1132, 19—21 ὅπως bis ὅπλων fehlt im Ar.

IV. VOLLSTÄNDIGKEIT DER MECHANIK. INTERPOLATIONEN.

Wenden wir uns nun zur Frage nach der Vollständigkeit der Mechanik. Hierfür haben wir nicht so gute Zeugnisse wie für die Echtheit und sind mehr auf innere Kriterien angewiesen. Um zunächst das Sichere zu erwähnen, so ist die uns im arabischen Texte überlieferte Einteilung der Mechanik in drei Bücher durch Pappus 1130, 8 (allerdings nur für das Minimum von drei) bezeugt. Die daselbst als aus dem dritten Buch des Heron entnommen bezeichneten Stellen bilden in diesem das Ende des ersten Kapitels und das zweite vollständig. Der Inhalt des zweiten und dritten Buches wird am Anfang des ersten Kapitels des dritten Buches kurz angegeben und stimmt dazu vollkommen. Dafs nicht etwa noch ein viertes und weiteres Buch vorhanden war, dürfte sich aus der Erwägung ergeben, dafs der Gegenstand der praktischen Mechanik, als welche Herons Buch offenbar gedacht ist, mit der Darstellung der Pressen und der Konstruktion der Schraubenmutter erschöpft ist, so dafs kein Bedürfnis für Weiteres vorhanden war.

Das erste Buch mit seiner reichen Mannigfaltigkeit an behandelten Gegenständen dürfte wohl den Satz Herons rechtfertigen, den er am Ende des ersten Buches schreibt,

1068, 4 (unten 264, 28) verweist auf Mech. I, 19, S. 48, 4 ff. und auf Pappus 1108, 30 ff. vergl. unten S. XXXI.

1068, 19—23 (unten 266, 27) bezieht sich auf Mech. I, 6, S. 14, 26—28 und II, 7.

1108, 30—1114, 3 behandelt dieselbe Aufgabe wie Mech. I, 19, S. 48, 4 ff.

1114, 8—21 = Mech. II, 18, S. 140, 8—22. Das „absurdum interpretamentum" 1114, 12 wird durch das Arabische klar, da wahrscheinlich im Griechischen vorher ausgefallen ist: „Der Zahn *γε* greife vollständig in eine Windung ein", wodurch natürlich „die übrigen .... nicht eingreifen". Die arabische Übersetzung von 1114, 16—17 könnte als Tautologie aufgefafst werden; doch weist das Griechische darauf hin, dafs sie richtig ist. Nur ist zu beachten, dafs das Arabische die Partizipialkonstruktionen nicht nachahmen kann, sondern dieselben in der Regel durch selbständige Sätze auflösen mufs.

1116, 7—10 incl. *ἐκθέσθαι* und von 11 *αἱ προειρημέναι* bis 15 (ohne Zeile 14 *πρὸς τούτοις ὁ καλούμενος ἄπειρος*), dann von 16—32 = Mech. II, 1, S. 94, 5—25. Nachher fehlt im Griechischen von „Wenn wir dies gethan" bis 96, 7.

1118, 1—13 = Mech. II, 1, S. 96, 8—98, 6.

1118, 14—27 = Mech. II, 2, S. 98. 1118, 20—21 hat der Araber weitläufiger; Z. 22 ist mifsverstanden, indem in seiner Vorlage *πάνυ εὐκόπου* vielleicht fehlte.

1118, 28—1122, 5 = Mech. II, 3, S. 98 ff. 1118, 18 nach der Klammer kleiner Zusatz im Arabischen; Z. 18, 19 von *ἵνα* bis *ἐξάπτωμεν* fehlt im Arabischen; 1122, 1 *δυσπειθῇ* umschrieben durch den Satz: weil etc.

1122, 6—25 = Mech. II, 4, S. 102. S. 102, 22 liefse sich besser mit Pappus 1122, 9 in Einklang bringen, wenn man übersetzt: „um das, was herrlich ist von Zimmermannsarbeiten etc.", je nachdem man ein Wort des Textes anders liest. 1122, 15 nach *διὰ* scheint der Araber einen anderen Text gehabt zu haben oder im Griechischen etwas ausgefallen zu sein. Z. 18 *καρτερὰ*

gab es eben keinen besseren Platz, als in dem Buche, dem es sein Entstehen verdankte.

Unter einem dritten, von den beiden eben besprochenen verschiedenen, Titel zitiert Eutokius die Mechanik des Heron, nämlich *μηχανικαὶ εἰσαγωγαί* in Archimedes ed. Heiberg vol. III, S. 71. Dort ist von der Konstruktion zweier mittlerer Proportionalen die Rede und wird die Lösung des Heron nach Mech. I, 11 und nach den Belopoiika angegeben. Der genannte Titel dürfte auch eine freiere Bezeichnung sein, wozu Eutokius durch Heron selbst veranlafst sein wird, der am Ende des ersten Buches S. 92, 11: sagt „Dies mag für die ersten Darlegungen einer Einleitung in die Mechanik genügen.“

Das Folgende bietet nun eine kurze Übersicht über die eingangs dieses Kapitels erwähnten Excerpte des Pappus aus der Mechanik und der von ihm nur dem Inhalt nach angezogenen Stellen.

Pappus ed. Hultsch S. 56, 1, 11, 17, weist auf Mech. I, 10 und 11, S. 23, 24. 62, 14—64, 18 und Eutokius in Archimedes ed. Heiberg vol. III, p. 71 = Mech. I, 11, S. 24.

Während Eutokius geringe Veränderungen gegen den arabischen Text aufweist, stimmt Pappus bis auf Einzelnes genau damit überein. Es fehlen im Griechischen die Worte S. 24, 11 „Verbunden“ bis „und“; S. 26, 1—3 „während $\alpha\beta$ die erste etc. bis $\beta\gamma$ die vierte Proportionale ist.“ Diese Worte finden sich an der entsprechenden Stelle der Belopoiika, vgl. Archim. III, 71, Note Z. 6 v. u. S. 24, 6 fehlt *γεγονέτω* im Arabischen.

1030, 18—1032, 33 giebt im Wesentlichen dasselbe wie Mech. I, 24, S. 66, 16—70, 3.

1034, 4 verweist auf Mech. I, 24, S. 62. 1034, 14 ff. grofsenteils wörtlich = II, 35 S. 188, 20 ff. S. unten S. 292, 4.

1054, 4—1056, 29 scheint durch Mech. I, 23 veranlafst zu sein.

1060, 4 weist auf I, 1. Vgl. unten S. 256, 9.

1064, 8 hat Mech. II, 7 ff. im Sinne. S. unten S. 260, 20.

Aufserdem: was sollte der Inhalt des Barulkus gewesen sein? Der Name und das Fragment am Ende der Dioptrik und Mech. I, 1 weisen scharf darauf hin, dafs er von den Maschinen zum Heben der Lasten gehandelt hat. All diese Maschinen hat aber Heron im zweiten und dritten Buche der Mechanik ausführlich besprochen, und es ist doch nicht anzunehmen, dafs er zwei Schriften mit annähernd gleichem Inhalt über denselben Gegenstand verfafst habe. Meiner Ansicht nach stammt das Fragment überhaupt nicht von Heron, sondern ist eine Übung, die ein Leser von II, 21 verfafst hatte. Den Anlafs dazu nahm er aus Herons Worten II, 21 S. 152, 6, 7: „Wenn wir bei diesem Vorgehen noch mehrere Räder und Achsen benutzen wollen, so müssen wir dasselbe Verhältnis anwenden." „Mehrere Räder", nämlich mehr als die drei, die Heron anwandte, „dasselbe Verhältnis" nämlich 5:1, wie bei den zwei ersten. Heron verläfst nämlich beim dritten Rade das Verhältnis von 5:1 und nimmt ein neues, 8:1, an. Bei diesem Verfahren braucht er nur drei Räder. Sollen mehr Räder gebraucht werden, so kann man beim dritten Rade nochmals das Verhältnis 5:1 anwenden, und hat dann für das letzte Rad das Verhältnis 2:1, wie der Araber in I, 1 oder von 8:5, wie das griechische Fragment. Pappus hat von vornherein das Verhältnis 2:1 angewandt und braucht noch eine Achse mehr. Der Verfasser des Fragments hat auch Herons Vorschrift II, 21 S. 152, 20—24, betreffend die festen Stützen für den ganzen Apparat, gut befolgt durch die Herrichtung des Glossokomon. Diese mehrfache Anwendung von Achsen und Zahnrädern ist eben der Zweck der Übung, sowohl in dem Fragment der Dioptrik als auch bei Pappus. Heron braucht also nicht der Urheber dieses Fragments zu sein, wenn er auch der war, der den Anlafs dazu gab. Dafs es unter die heronischen Schriften geriet und auch zur Ehre kam die Mechanik zu eröffnen, vielleicht für einen ausgefallenen anderen Eingang, läfst sich leicht begreifen. Denn für ein solches Übungsstück

nämlich in wörtlicher Übersetzung: „Buch des Heron über das Heben schwerer Gegenstände“. Das entspricht so gut wie nur immer möglich — das Arabische kennt keine Zusammensetzungen wie das Griechische — dem griechischen Barulkus, während „Mechanik“ entweder mit dem griechischen Ausdruck, als Lehnwort (wie einmal bei Ja'kûbī ZDMG XLII S. 2), oder durch „die Kunst der Maschinen“ wie Mech. I, 34 S. 93, 7, 8 wiedergegeben würde. Wie kommt nun der arabische Übersetzer dazu den Titel Barulkus über die „Mechanika“ zu setzen? In Wirklichkeit wird wohl Barulkus der richtige von Heron seinem Buch über Mechanik gegebene Titel sein, und Mechanika ein von Pappus gebrauchter, den Inhalt des Buches allgemein charakterisierender Ersatz dafür sein. Ähnlich nennt Pappus Bücher andrer Gelehrten mit verschiedenen Namen, z. B. den Almagest des Ptolemäus S. 1107, u. vgl. Pappus III, S. XIV; ein Werk des Archimedes S. 312, 20; 313, n. 1; 314, 2; des Eratosthenes S. 636, 24 und 672, 5. 6. Den richtigen Titel Barulkus wendet er einmal in dem Abschnitt 1060 an, weil es sich hier wirklich um das Heben einer Last handelt. Dabei mag ihm der Titel Barulkus ganz natürlicherweise ins Gedächtnis oder vor Augen gekommen sein. Wenn meine Meinung richtig sein sollte, würde ich kein Bedenken tragen, wenigstens die Worte 1060, 6 *λῆμμα — ἀπέδειξεν*, wenn nicht bis Z. 10 *δύναμιν*, für eine Interpolation zu halten, die wohl demselben Schreiber zur Last fiele, der auch (nach Hultsch) die Excerpte aus Heron 1114, 22 ff. eingefügt hat. Daſs derselbe Schreiber es nicht allzugenau mit Titeln nahm, zeigt auch der Eingang seiner Auszüge. Er beginnt: *Τοσαῦτα μὲν οὖν περὶ τοῦ βαρουλκοῦ*, während unmittelbar vorher, 1114, 5, Herons Mechanik erwähnt, und 1114, 8—21 das 18. Kapitel des zweiten Buches der Mechanik wörtlich ausgeschrieben ist, der Barulkus aber mehr als 25 Seiten vorher genannt wird. Der etwas ungewöhnliche Titel Barulkus mag ihn bestochen haben, denselben in einen gewissen Gegensatz gegen die Mechanika zu setzen.

Herausgeber des ersten Bandes beigegebenen Fragmenten, die sich an verschiedenen Stellen bei Pappus finden und daselbst ausdrücklich als aus Heron herübergenommen bezeichnet werden. Alle Stellen Herons, auf die Pappus anspielt oder die er wörtlich anführt, finden sich in unsrem arabischen Texte. Allerdings zitiert Pappus den Heron unter zwei verschiedenen Titeln, βαρουλκός und μηχανικά, die an einer Stelle (1060, 6) beide zusammen in demselben Satze genannt werden. Schliefsen wir hieraus, dafs Barulkus und Mechanika zwei verschiedene Schriften des Heron sind, so erhebt sich die Frage, welche von beiden unser Text darstellt. Alle von Pappus angezogenen und ausgeschriebenen Stellen Herons sind aus den Mechanika entnommen, bis auf die eine, Seite 1060, bei der er ausdrücklich auf den Barulkus verweist. Die zuerstgenannten Auszüge lassen sich nun alle in unserem arabischen Texte nachweisen. Folglich ist unser Text die Mechanika betitelte Schrift. Dafs nun Pappus bei dem S. 1060 stehenden Absatz nicht Mech. II, 21 im Sinne hatte, sondern den Eingang des ersten Buches, erhellt deutlich aus dem von ihm dorther genommenen Ausdruck γλωσσόκομον 1062, 3, aus den Worten 1060, 11 διὰ τυμπάνων ὀδοντωτῶν παραθέσεως [ἐκίνει] τὸ δοθὲν βάρος τῇ δοθείσῃ δυνάμει, denen die arabische Übersetzung S. 2, 11 und 2, 5 genau entspricht, sowie einer Anzahl anderer Übereinstimmungen. Also ist dieses erste Kapitel des ersten Buches der einzig erhaltene Rest des Barulkus. Zufällig ist nun der griechische Wortlaut dieses Barulkusfragmentes am Ende der Dioptrik des Heron erhalten; er stimmt aber nur in seinen vier ersten Alinea, in der Ausgabe von Vincent, mit dem arabischen Text von Mech. I, 1, S. 2 bis 6, 3, abgesehen von Kleinigkeiten, gut überein, während er im Folgenden stark davon abweicht, sich aber, mutatis mutandis, häufig wörtlich mit Pappus 1066, 16ff deckt.

Gegen unsere Folgerung erhebt sich aber ein Widerspruch. Der arabische Titel unseres Textes, der zu Anfang und Ende eines jeden Buches wiederkehrt, lautet

Handschriften wird dies auch als sicher bestätigt, was auch Herr Baron C. de Vaux in einem Briefe an mich anerkennt. In der Note zu S. 73 der Einleitung zur Separatausgabe versuchte er allerdings noch die Lesung Praxidamas zu verteidigen oder Posidonius zu einem Maler machen zu wollen, allein mit wenig Glück. Denn der arabische Relativsatz nach dem Namen „scheint" nicht nur das griechische *ἀπὸ τῆς στοᾶς* wiederzugeben, sondern entspricht ihm durchaus, indem die wörtliche Übersetzung davon lautet: „der zu den Genossen der Stoa gehört." Die andere l. c. angeführte Lesung: „qui était peintre" ergiebt sich durchaus nicht so einfach aus dem Arabischen. Wenn das „Stoa" entsprechende Wort durch Zusetzung andrer Lesezeichen, die in den Handschriften häufig ausfallen, zu „peintre" wird, so bedeuten die vorhergehenden Worte doch noch nicht „qui était", sondern das Ganze hieſse: „der zu den Genossen des Malers gehört". Dann müſste man erst einen Griechen kennen, der schlechthin der Maler genannt wurde und von solcher Bedeutung war, daſs man seine Schüler mit dem Epitheton „Genossen des Malers", etwa *οἱ περὶ τὸν ζώγραφον*, bezeichnete. Die letztere Konjektur de Vaux's liegt also sehr im Argen, während die Schwierigkeiten bei der Lesung: „Posidonius, ein Stoiker" verschwinden. Statt Posidonius oder Praxidamas an Archimedes zu denken, wie es kürzlich in Berl. phil. Wochenschrift 1899 S. 1540 unt. vorgeschlagen wurde, verbieten die arabischen Schriftzüge des Namens, aus denen schon „Praxidamas" nur mit Gewalt herausgelesen werden kann. Lassen wir also dem Stoiker Posidonius seinen Platz in der Mechanik des Heron.

III. DIE ECHTHEIT DER MECHANIK.

Daſs das uns vorliegende, von Kosta ben Luka aus dem Griechischen ins Arabische übersetzte und unter Herons Namen überlieferte Buch echt ist, erhellt aus den unten angeführten und im Anhang im griechischen Text von dem

stöſse untergelaufen, so daſs er gute Lesarten der Handschrift in die Noten verwies: So z. B. S. 23 der Separatausgabe Note 4, S. 66 Note 1 und 2, S. 93 Note 2, S. 107 Note 1 und And. Überhaupt gilt seine kritische Arbeit weniger dem technischen Inhalt, der ihm als Ingenieur vielleicht näher gelegen hätte, als der sprachlichen Seite des Textes, wobei er jedoch z. B. in der Punktation nicht immer ganz glücklich war. Das will aber nicht viel sagen, denn der französische Herausgeber ist offenbar in der modernen Sprache bewanderter als in der älteren. Daſs er aus technischen Erwägungen nichts an seinem Texte geändert hat, könnte man ihm mit Rücksicht auf die erste Ausgabe nach einer einzigen Handschrift zu gute halten. Leider bietet aber auch seine Übersetzung bei einigen schwierigen Fragen, z. B. — um nur eine herauszugreifen — bei der Herstellung der Schraubenmutter (III, 21), durchaus kein Anzeichen, daſs er sich über das Technische in diesem Paragraphen klar geworden wäre. Doch sollen diese kleinen Ausstellungen das Verdienst de Vaux's nicht schmälern, sich zuerst diesem schwierigen Gegenstand zugewandt und die im Original längst verloren gegangene Schrift ans Licht gezogen und zugänglich gemacht zu haben.

Im Anschluſs hieran möchte ich noch einen Fall aus der ersten Ausgabe erwähnen, der zeigt, wie man durch harmlose Lesefehler verführt werden kann, das naheliegende Richtige zu übersehen und Miſsverständnisse hervorzurufen. In Mech. I, 24 kommt ein Name vor, der in der Leidener Handschrift Bōsidōmōs geschrieben steht (nur die ō sind plene geschrieben). Obschon der erste Herausgeber im arabischen Text dies richtig in Posidonius aufgelöst hat, da es ein häufiger Schreibfehler in arabischen Handschriften ist, n + j in m zusammenzuziehen, ebenso wie häufig umgekehrt m in n (b etc.) + j auseinandergezogen wird, hat er doch in der Übersetzung Praxidamas daraus gemacht, das Clermont-Ganneau erst wieder in das richtige Posidonius zurückkonjizierte. Durch die drei übrigen

Da die Manuskripte m. E. auf einen Archetypus hinweisen, so liegt uns natürlich auch nur eine Rezension der Mechanik vor, die in den Handschriften dem Kosta ben Luka aus Baalbek zugeschrieben wird, während die oben besprochenen arabischen Quellenwerke keinen Übersetzer der Mechanik nennen. In dem arabischen Titel und der Überschrift des ersten Buches wird gesagt, Kosta (K hat in der Überschrift Kostantin) ben Luka habe die Übersetzung ins Arabische auf Befehl des Chalifen Abul Abbâs Ahmed ibn al-Muʿtasim al-Mustaʿîn (862—866) nach dem Griechischen angefertigt. In der Anordnung der einzelnen Bücher und Paragraphen herrscht völlige Übereinstimmung unter den Manuskripten. Der Leidener Codex, und in Übereinstimmung damit auch der von Konstantinopel, hat im ersten Buche einige Partien umgestellt; dieselben sind in der ersten Ausgabe in den Noten zum Text angegeben und an die richtige Stelle gesetzt, wie es durch die Cairenser und Londoner Handschrift schön bestätigt wird.

Die bereits erwähnte erste Ausgabe der arabischen Mechanik hatte zur Grundlage einzig und allein die Leidener Handschrift. Ist es schon im Allgemeinen schwierig nach nur einer Handschrift, die dabei nicht einmal gut, aufserdem sehr sparsam punktiert ist, einen Text zu edieren, so vermehren sich die Schwierigkeiten noch ganz bedeutend, wo es sich um Gegenstände der Technik handelt, wie hier. In diesem Falle mufs man sich aus dem Text einige Anhaltspunkte suchen, um sich über das Technische klar zu werden und dann durch vorsichtiges Tasten und Prüfen sehen, wie der Autor seinen Gegenstand sprachlich darzustellen sucht. Dabei mufs man gelegentlich mehr zwischen den Zeilen lesen, als in denselben geschrieben steht. Obschon sich nun der französische Herausgeber bemühte, seinen Text auch kritisch zu betrachten, und es ihm gelungen ist, eine ganze Anzahl kleinerer Versehen des Abschreibers zu verbessern, sind ihm doch einige Ver-

der Kollation des Codex der Aja Sofia verhindert war, trat Salih Zéky Bey, Direktor des Observatoriums zu Pera, für ihn ein, wofür wir diesem Herrn sehr zu Dank verpflichtet sind. Von dem Cairenser Manuskript liefs die Verwaltung der Kgl. Bibliothek zu Berlin in liberalster und dankenswertester Weise eine Abschrift anfertigen, jetzt Berl. Ms. Orient. qu. 840, die ich neben der Leidener Handschrift auf der Bonner Universitätsbibliothek benutzen konnte.

Der Wert der einzelnen der vier genannten und für die vorliegende Ausgabe benutzten Handschriften ist ein ziemlich gleicher. Durchaus vollständig ist keine einzige; alle haben gröfsere oder kleinere Auslassungen aufzuweisen, die sich aber glücklicherweise fast alle durch eine oder mehrere der übrigen Handschriften ergänzen lassen, so dafs doch ein vollständiger Text gewonnen werden konnte. B ist aufserdem am Anfange unvollständig und beginnt erst mit I, 4 S. 11 d. B. Am meisten hat der Text von K durch Auslassungen gelitten, doch sind dieselben nicht überall angemerkt, da mir nur die obengenannte Abschrift desselben zur Verfügung stand und ich nicht entscheiden konnte, ob die Lücken nur dem Schreiber des jetzigen Berliner Exemplars oder dem Cod. Cairensis zur Last fallen. Die vier Handschriften scheinen auf eine gemeinsame Vorlage zurückzugehen, wie ich aus der häufigen Gemeinsamkeit von Verderbnissen, z. B. im Kap. 15 des ersten Buches, schliefsen zu dürfen glaube, und von einander unabhängig zu sein, wodurch es kommen mag, dafs mehrfach nur ein Codex das Richtige hat, während die anderen alle verschrieben sind oder eine Lücke aufweisen.

Aus den mir von Baron de Vaux gütigst überlassenen Kollationen von B und C, sowie aus meinen eigenen von L und K habe ich versucht einen lesbaren Text zusammenzustellen, war aber, trotz des ziemlich reichen Materials häufig genug auf Konjekturen angewiesen, zu deren Rechtfertigung ich nur auf die textkritischen Noten und meine Übersetzung verweisen möchte.

angegebene Ausgabe Carra de Vaux's enthält gar nichts von pneumatischen Maschinen, wohl aber das unter Nr. 3 genannte Buch, den Barulkus, der höchstwahrscheinlich mit der Mechanik identisch ist. de Vaux's Ausgabe erschien im Journal Asiatique 1893, im Separatabzug 1894, nach dem unter Nr. 3 bei Steinschneider genannten Cod. Leid. Steinschneiders Bemerkung l. c. S. 347 Nr. 4 „(im Journ. As. 1894 Mai S. 146 sind nur Stellen mitgeteilt)“ beruht auf einem Irrtum, da in dem genannten Heft überhaupt nichts von Heron steht. Die so berichtigten Notizen über de Vaux' Ausgabe gehören also zu Nr. 3, vgl. Heron Bd. I, Suppl. S. 43. Nr. 3.

Unter Nr. 5 hat Steinschneider einen Übersetzungsfehler gemacht, indem er das arabische *min d̲âtihâ* (nicht *d̲âtihi*) mit „ihrem Wesen nach“ wieder gab, statt mit „von selbst“. Vgl. Heron Bd. I, Suppl. S. 56 letztes Alinea. Es wird also die Schrift *περὶ αὐτοματοποιητικῆς*, die Automaten, gemeint sein.

II. DIE ARABISCHEN HANDSCHRIFTEN UND DIE ERSTE AUSGABE DER MECHANIK.

Die Mechanik ist bis auf einige kurze Auszüge im griechischen Original verloren gegangen. Sie ist uns aber in arabischer Übersetzung in vier Handschriften erhalten, nämlich in:

1. Cod. Leidensis DCCCCLXXXIII Cod 51 (i) Gol.; in den Noten mit L bezeichnet.
2. Cod. Mus. Brit. Add. 23,394 im Katalog S. 619^b; bezeichnet mit B.
3. Cod. Constantinop. der Aja Sofia. Katalog S. 165 Nr. 2755; bezeichnet mit C.
4. Cod. Cairensis. Katalog der Bibliothek des Khedive V, S. 199; bezeichnet mit K.

Baron Carra de Vaux hatte die Güte, die Kollation der Manuskripte von Konstantinopel und London an Ort und Stelle zu übernehmen. Als er an der Vollendung

Über die unter 2. und 3. genannten arabischen Werke und ihre Verfasser konnte ich nichts Genaueres ermitteln.

Die Quellen bieten uns also im Ganzen sechs Titel von Schriften Herons; davon entfallen auf die älteste allein fünf, auf die mittlere zwei und auf die jüngste drei, von denen einer, allerdings ein zweifelhafter, bei den anderen nicht genannt wird. Für die Wahrscheinlichkeit, daſs das von Hadji Khalfa zuletzt erwähnte Buch der Kriegswerkzeuge wirklich einem Heron zuzuschreiben ist, spricht besonders der Umstand, daſs unter dem Namen Herons ein Buch *βελοποιικά* und ein anderes *πολιορκητικά* genannt wird; dann auch daſs der Name Hârûn ohne jeden Beisatz steht, was sicher darauf hindeutet, daſs es ein fremder, nicht der arabische Name Hârûn ist, der so ohne weiteres Unterscheidungsmerkmal Anlaſs zu Verwechselungen gäbe. Welcher von den beiden bei Steinschneider l. c. S. 347 Nr. 6 genannten Heron hier gemeint ist, kann ich nicht entscheiden, da der Name und Titel allein dazu keine Handhabe bieten. Die von der sonst üblichen Transskription ('Îron oder 'Îran, der zweite Vokal ist nicht geschrieben) abweichende Hârûn wäre an sich kein Hindernis, die beiden Namen zu identifizieren.

Ob nun auch alle die genannten Schriften arabisch vorhanden waren, läſst sich nach den spärlichen Angaben der Quellenwerke nicht sagen. Bruchstücke des Buches „Lösung der Zweifel in Euklid" mögen die in dem von Besthorn und Heiberg herausgegebenen Codex Leidensis 3991, Hauniae 1893, 1897 sich findenden Sätze Herons (vergl. ZDMG l. c. u. Heron Bd. I, Suppl. S. 68 Anm. 3) wohl bieten. Von dem Buche selbst sind keine Handschriften bekannt, und die Quellen nennen keine Übersetzer desselben. Sicher übersetzt, weil noch vorhanden, ist nur eine der genannten sechs Schriften, nämlich die über das Ziehen oder Heben der Lasten. Steinschneider hat a. a. O. S. 347 Nr. 4 die „pneumatischen Maschinen" mit der Mechanik identifiziert, was schon der arabische Titel verbietet, und sich als durchaus irrig herausstellt. Denn die von Steinschneider

Aufser diesen vier Büchern kennt der Fihrist noch ein weiteres, nämlich

5. Das Buch über die Dinge, die sich von selbst bewegen, von Heron. I, S. 285.

Die nächste Quelle ist das Gelehrten-Lexikon des Wesirs Gemâl ed-Dîn al-Kiftī, der von 1172—1248 lebte. Er benutzte den Fihrist sehr stark und nennt Heron an zwei Stellen; einmal bei Euklids Elementen, indem er sagt, er habe die Zweifel des Buches gelöst, vgl. Casiri I, 341; das andre Mal in einem kleinen Spezialartikel, wo er sagt (H. Kh. VII, 611): Der Grieche Heron aus Alexandrien in Ägypten ist ein Gelehrter in den Wissenschaften der Leute seiner Zeit. Er verfafste Bücher, lehrte und gab Aufklärung über die Geheimnisse dieser Kunst. Zu seinen Schriften gehört das Buch der Lösung der Zweifel im Buche Euklids und das Buch der pneumatischen Maschinen.

Die dritte allerdings ganz späte Quelle ist das „Lexicon bibliographicum" des Hadji Khalfa (starb 1658) ed. Flügel. Es erwähnt Heron an drei Stellen:

1. I, 383 bei Euklids Elementen mit den Worten: Heron verfafste die Lösung der Zweifel darin.
2. II, 589. Wissenschaft des Ziehens der Lasten. Das ist die Wissenschaft, in welcher darnach geforscht wird, wie man Werkzeuge anwendet, um schwere Gegenstände durch eine geringe Kraft zu ziehen. Ihr Nutzen ist offenbar; Heron hat in seinem Buche über diese Wissenschaft den Beweis geliefert für das Heben von 100000 Pfund durch eine Kraft von 500 Pfund. Sie ist ein Zweig der Mathematik. Der Imâm hat am Ende des „Vereinigers der Wissenschaften" Beweise für einige Fragen derselben gegeben, während der Verfasser des „Schlüssels der Seligkeit" (Taškӧprizadeh) kein Buch über diesen Wissenszweig erwähnt.
3. V, 48. Buch der Kriegswerkzeuge von Hârûn (Heron?), welches Takîj ed-Dîn in dem „Lotosbaum der Grenze" anführt.

EINLEITUNG.

I. DIE NACHRICHTEN DER ARABER ÜBER HERON.

Über das Zeitalter des Heron finden sich in den arabischen Quellen weder in den Bio- und Bibliographen, noch in den Handschriften der Mechanik, irgend welche Angaben. Die Gründe, die aus der Mechanik zu einer Beurteilung oder Entscheidung dieser „heronischen" Frage angezogen werden können, sind in dem ersten Kapitel der Vorrede des ersten Bandes dieser Gesamtausgabe der Werke des Heron von berufener Seite besprochen, so dafs wir hier über diesen streitigen Punkt hinweggehen können, um das, was die Araber von Herons Schriften kannten, kurz anzuführen. Dies dürfte auch nach dem Erscheinen der Arbeiten Steinschneiders über die arabischen Übersetzungen aus dem Griechischen, worin Heron der Paragraph 132 in der „Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft" Bd. L, S. 346 gewidmet ist, nicht überflüssig erscheinen, da sich in dem erwähnten Abschnitte einige Mifsverständnisse und Ungenauigkeiten finden.

Zuerst wird Heron erwähnt in dem, im Jahre 987 n. Chr. verfafsten Fihrist (Katalog) des Muhammed ibn Ishâk an-Nadîm vol. I, S. 269. Die Stelle lautet wörtlich: Heron (arabisch 'Îran oder 'Îron). An Büchern hat er verfasst:

1. Das Buch der Lösung der Zweifel bei Euklid.
2. Das Buch des Verfahrens mit dem Astrolab.
3. Das Buch des Hebens der Lasten.
4. Das Buch der pneumatischen Maschinen.

Auf die erste Schrift wird auch Fihrist I, S. 265 unter Euklid bei den „Elementen" hingewiesen mit den Worten: Die Zweifel darin löste Heron.

HERONS VON ALEXANDRIA MECHANIK

IN DER ARABISCHEN ÜBERSETZUNG DES

KOSTA BEN LUKA

MIT DEUTSCHER ÜBERTRAGUNG HERAUSGEGEBEN VON

LUDWIG NIX.

G. AUS CATOS LANDBAU.

H. AUS PSEUDO-EUKLIDS KATOPTRIK.

D. HERONS KATOPTRIK.

Griechisches Fragment.

E. AUS VITRUVS BAUKUNST.

F. AUS PLINIUS' NATURGESCHICHTE.

B. GRIECHISCHE FRAGMENTE DER MECHANIK.

C. HERONS KATOPTRIK
(Lateinisch).

BUCH III.

BUCH II.

INHALT.

A. HERONS MECHANIK.

BUCH I.

Hero of Alexandria

HERONS VON ALEXANDRIA

ECHANIK UND KATOPTRIK

HERAUSGEGEBEN UND ÜBERSETZT

VON

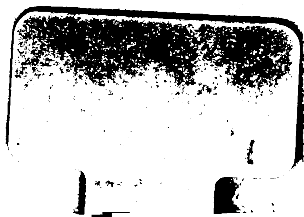
L. NIX UND W. SCHMIDT.

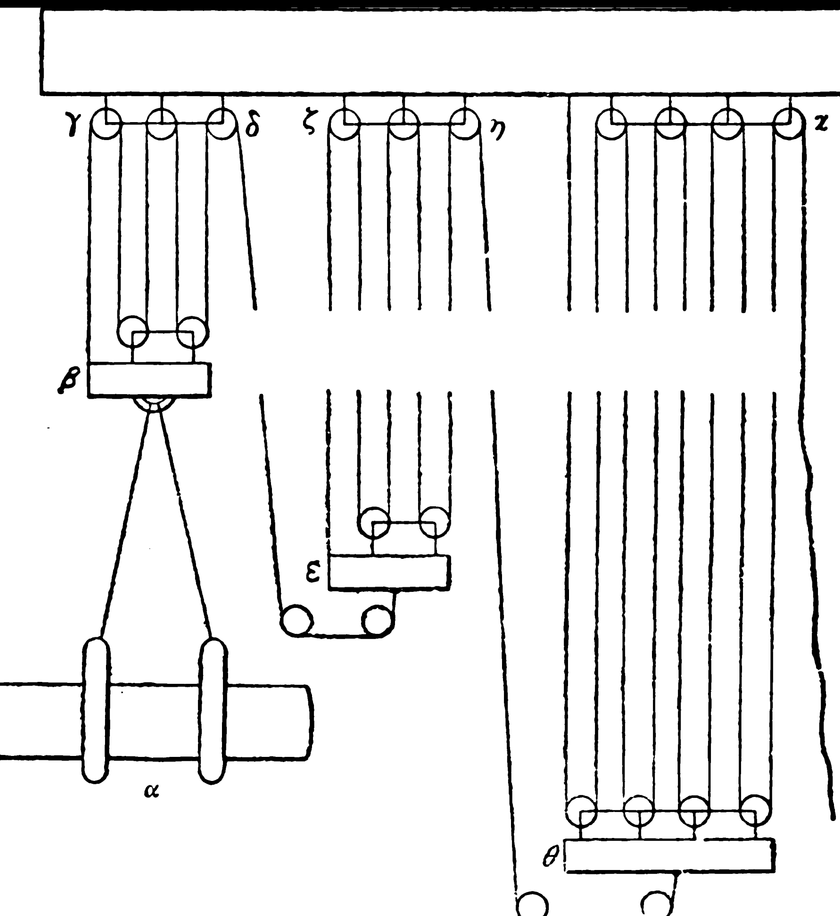
IM ANHANGE EXCERPTE AUS
YMPIODOR VITRUV PLINIUS CATO PSEUDO-EUKLID.

MIT 101 FIGUREN.



LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.
1900.





Herons von Alexandria Mechanik und Katoptrik

Hero (of Alexandria.)